

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка регулируемого электропривода погружного насосного агрегата для откачки попутного нефтяного газа

УДК 62-83-523 622 276 53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Гусаков Дмитрий Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Профиль – Электропривод и системы управления электроприводом

Код результата	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль – Электропривод и системы управления электроприводом

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

(Подпись)

(Дата)

_____ Дементьев Ю.Н.

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Гусакову Дмитрию Евгеньевичу

Тема работы:

**Разработка регулируемого электропривода погружного насосного агрегата для откачки
попутного нефтяного газа**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Установка электроцентробежного насоса (УЭЦН).

УЭЦН должна иметь производительность

$$Q = 700 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

КПД насоса $\eta = 70\%$;

Потребное давление $P = 14.5 \text{ МПа}$

Диаметр колонны $D = 176 \text{ мм}$

Выполнить математическое и имитационное моделирование электропривода УЭЦН.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих раз-работке; заключение по работе).</i>		Теоретические сведения о технологии откачки ПНГ; Математическая модель электропривода насосного агрегата; Имитационное моделирование системы электропривода в программной среде Matlab Simulink.		
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		1. Функциональная и структурная схемы. 2. Имитационная модель. 3. Результаты исследований.		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы				
Раздел		Консультант		
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»		Фигурко А.А.		
«Социальная ответственность»		Амелькович Ю.А.		
Раздел на иностранном языке		Соколова Э.Я.		
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:				
Введение; обзор литературы по вопросу отказоустойчивого электропривода; составление математической модели отказоустойчивого асинхронного электропривода для гибридного транспортного средства; заключение.				
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Гусаков Дмитрий Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему «Разработка регулируемого электропривода насосного агрегата для откачки попутного нефтяного газа» состоит из текстового документа из 131 страниц, 50 рисунков, 15 таблиц, 21 источник использованной литературы, 2 приложения.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, электроцентробежный насос, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, энергоэффективность.

Целью данной работы является проведение расчета и исследование режимов работы электропривода насосного агрегата для откачки попутного нефтяного газа.

В процессе исследования использовались как специальное программное обеспечение (MATLABSimulink, Mathcad), так и стандартные программы (Microsoft Office).

В результате исследования были осуществлены расчет и имитационное моделирование погружного электродвигателя, преобразователя частоты, механической системы электропривода, предельных характеристик, произведен выбор электрического оборудования, соответствующий условиям технического задания.

В организационно - экономической части выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование. С позиции финансовой и ресурсной эффективности выбран рациональный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи.

В разделе производственной и экологической безопасности рассмотрены техника безопасности, производственная санитария, пожарная безопасность технологического процесса.

Выпускная квалификационная работа оформлена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2013 и представлена в распечатанном виде на листах формата А4.

Оглавление

Введение.....	8
1 Технология откачки пнг	10
1.1 Обзор электропривода насосного агрегата в применяемой технологи.	12
1.2 Установка электроцентробежного насоса	13
1.3 Разработка кинематической схемы электропривода уэцн	15
2 Расчет и выбор основного силового оборудования регулируемого электропривода.....	21
2.1 Расчет и выбор эцн.....	21
2.2 Расчет и выбор погружного электродвигателя	22
2.3 Расчет и выбор типа сечения кабеля	23
2.4 Расчет и выбор станции управления	24
2.5 Расчет аппаратов защиты	27
2.6 Принципиальная электрическая схема управления пэд.....	27
3 Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы электропривода	30
3.1. Расчет естественных электромеханической и механической характеристик электропривода.....	30
3.2 Расчет механической характеристики производственного механизма	35
3.3 Расчет искусственных характеристик системы «преобразователь-двигатель»	37
3.3.1 Расчет и построение искусственных характеристик системы преобразователь-двигатель с ir-компенсацией	40
4 Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением в имитационной среде matlabsimulink.....	44
4.1 Имитационная модель силового канала электропривода	44

4.2 Настройка модуля компенсации скольжения	52
4.3 Настройка модуля іг-компенсации	55
4.4 Ограничение тока электродвигателя.....	57
4.5 Сравнение энергетических показателей частотно-регулируемого электропривода.....	59
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
5.1 Планирование научно-исследовательских работ.....	69
5.2 Определение трудоемкости выполнения работ	70
5.4.1 Затраты на специальное программное среду для научных работ.....	77
5.4.2 Полная заработная плата исполнителей темы	77
5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	79
5.4.4 Накладные расходы	81
5.4.5 Формирование сметы технического проекта	80
6. Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта....	81
7. Социальная ответственность.....	86
7.1 Производственная безопасность.....	87
7.2 Электроопасность.....	99
7.3 Экологическая безопасность.....	102
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	103
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	106
Приложение 1	109
Приложение 2	110
Список использованных источников.....	130

Введение

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – смесь различных газообразных углеводородов, растворенных в нефти которые выделяются в процессе добычи и перегонки [1]. Технология откачки ПНГ, на сегодняшний день, является весьма актуальной задачей, способствующей решению проблемы утилизации ПНГ, помимо этого она позволяет понизить давление в затрубном пространстве скважины, тем самым повышая приток скважинной продукции [2].

Электропривод – это электромеханическая система, состоящая из преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса. Современный этап развития привода характеризуется массовым переходом от нерегулируемого электропривода к регулируемому [12].

Насосы и насосное оборудование являются неотъемлемой частью производства в нефтедобывающей отрасли. По объемам добычи нефти наиболее широко зарекомендовала себя установка электроцентробежного насоса (УЭЦН). Электромеханическим преобразователем в данной установке служит погружной асинхронный электродвигатель. Однако, эффективное управление ими представляет собой довольно сложную задачу и требует создания специальных систем управления [3].

Автоматизация управления позволяет осуществлять регулирование скорости при заданной программе в функции пути, времени или нагрузки, регулирование ускорения и замедления, перераспределение нагрузки, точную остановку, защиту от перегрузки, разноса, неправильного начального положения и т.п. Применение автоматизации (даже частичной) увеличивает

надёжность и точность работы электропривода, повышает производительность машин в целом [12].

При использовании регулируемых электроприводов решается задача поддержания определенного значения технологического параметра, например, регулирование подачи скважинной продукции в насосных установках.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка регулируемого электропривода погружного насосного агрегата, удовлетворяющего техническим условиям и требованиям.

1 Технология откачки ПНГ

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – является ценным углеводородным компонентом, выделяющимся из добываемых, транспортируемых и перерабатываемых, содержащих углеводороды, минералов на всех стадиях инвестиционного цикла жизни до реализации готовых продуктов конечному потребителю [2].

По данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ, из ежегодно добываемого в России ПНГ, лишь 26% направляется в переработку, 47% идет на нужды промыслов либо списывается на технологические потери и 27% сжигается в факелах. Помимо экономических убытков, утилизация ПНГ приводит к значительным выбросам твердых загрязняющих веществ и ухудшению экологической обстановки в нефтепромысловых районах [1].

Постановлением Правительства Российской Федерации от 08.01.2012 (протокол №7, пункт 2) по принятию мер для предотвращения загрязнения атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ и сокращении эмиссии парниковых газов, образующихся при сжигании попутного нефтяного газа, установлен целевой показатель сжигания ПНГ на факельных установках на 2012 и последующие годы в размере не более 5% от объема, добытого ПНГ. Так, при сжигании ПНГ на факельных установках более 5%, плата за выбросы вредных веществ, образующихся при этом, рассчитывается как за сверхлимитное загрязнение и при расчете к нормативам платы принимается дополнительный коэффициент [1].

Утилизацию ПНГ необходимо проводить, как с точки зрения экологической безопасности, так и с точки зрения экономической эффективности, потому как, при добыче скважинной продукции, в затрубном пространстве скапливается нежелательное количество газосодержания, которое, создавая дополнительное давление, препятствует повышению притока скважинной продукции. Избыток газосодержания на приеме скважинного насоса приводит к снижению подачи скважинной продукции и

КПД установки, так как присутствие эмульгированного газа увеличивает объём смеси, проходящей через первые рабочие ступени насоса, и забирает часть энергии, подводимой к валу насоса, расходуя ее на сжатие газовых пузырьков и полное их растворение в нефти.

Откачка ПНГ производится с помощью простой, но эффективной технологии [1,2], которая наглядно изображена на рисунке 1.

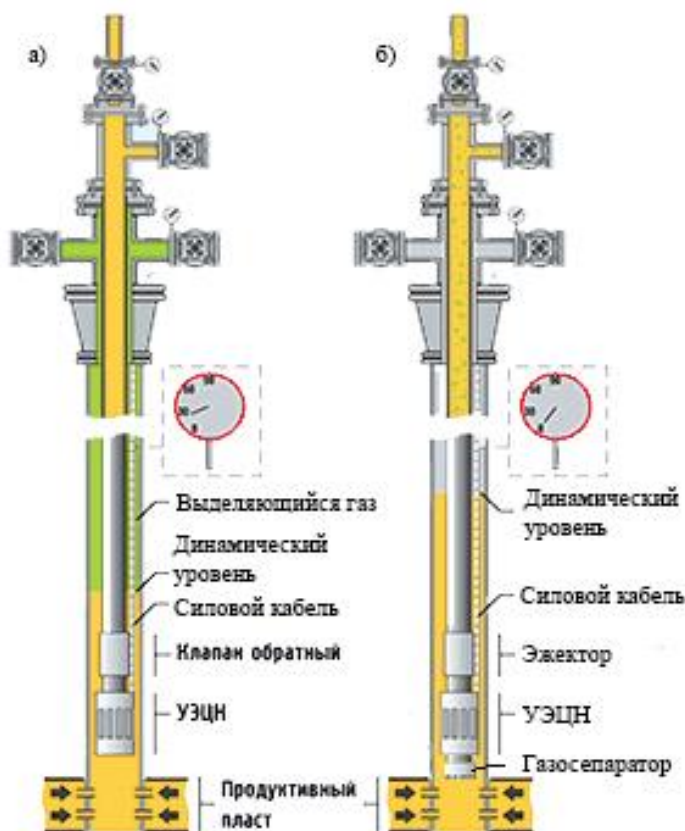


Рисунок 1 – Схема работы технологии по откачке ПНГ

а) – без применения технологии; б) – с применением технологии

Технология подразумевает использование в качестве насосного агрегата – установку электроцентробежного насоса (УЭЦН). На рисунке 1а представлена скважинная установка, которая не предназначена для откачки ПНГ, видно, что в такой системе динамический уровень скважинной продукции намного ниже чем на рисунке 1б, это обусловлено влиянием ПНГ который находится в затрубном пространстве (на рисунке выделен зеленым цветом). В данном случае скважинная продукция будет поступать на прием насоса, но с меньшим притоком. Проходя через насос, скважинная продукция

поступает в насосно-компрессорные трубы (НКТ) и подымается на верх к устью скважины, после чего подается на нефтеперерабатывающие станции. Рассмотрим рисунок 1б, на котором изображена схема с использованием технологии откачки ПНГ из затруба и частичной откачки газа из забоя скважины, путем сепарации. На входе УЭЦН располагается газосепаратор, гидравлически связанный с затрубным пространством через обратный клапан. Функция его заключается в том, чтобы осуществлять подачу скважинной продукции без излишнего содержания газа. Путем сепарации, через клапан, газ попадает в затрубное пространство, в котором уже изначально содержится ПНГ. Откачка ПНГ, непосредственно из затрубного пространства, осуществляется с помощью специального устройства – эжектора, который создает в насосно-компрессорных трубах (НКТ) область более низкого давления по сравнению с затрубным пространством, что способствует откачке ПНГ. После этого скважинная продукция и откаченный ПНГ смешиваются в НКТ и поступают в выкидную линию. Динамический уровень повышается, следовательно, приток скважинной продукции увеличивается [4].

Исходя из этого можно сделать вывод о том, что разрабатываемый электропривод для откачки ПНГ является актуальной задачей, позволяющей снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, а также повысить экономическую эффективность при добыче скважинной продукции.

1.1 Обзор электропривода насосного агрегата в применяемой технологии

Насосы являются основными исполнительными элементами в нефтедобывающей отрасли.

Насос – гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости, служащая для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твёрдыми веществами или сжиженных газов. Разность давлений

жидкости на выходе из насоса и присоединённом трубопроводе обуславливает её перемещение [3].

В технологии откачки ПНГ применяется насосный способ эксплуатации скважины. На сегодняшний день, большая часть электроприводов, применяемых в данной области, не подразумевает использование регулирования с помощью специальных устройств. Это обусловлено простотой и дешевизной эксплуатации насосного агрегата. В следствие этого, электродвигатели работают на предельных характеристиках и подвержены скорому выходу из строя. Насосная установка не требует большого диапазона регулирования, и регулирование подачи скважинной продукции осуществляется с помощью дросселирования задвижек, которые установлены на устье скважины. При дросселировании, КПД установки значительно уменьшается и этот способ является крайне неэффективным с точки зрения энергопотребления. Сравнение энергоэффективности нерегулируемого электропривода насосного агрегата и электропривода, управление которого осуществляется с помощью преобразователя частоты подробным образом приведены в главе 4.4. Выбор преобразователя частоты, как устройства управления двигателем, обусловлен обеспечением необходимой энергоэффективностью и надежностью. Исходя из существующей проблемы, можно сделать вывод, о том, что применение частотно-регулируемого электропривода в технологии нефтедобычи, и в частности, откачки ПНГ из затрубного пространства, является актуальным решением [6].

1.2 Установка электроцентробежного насоса

УЭЦН – установка электроцентробежного насоса является погружной бесштанговой насосной установкой лопастного типа. Скважины, оборудованные УЭЦН, уступают по количеству скважинам на которых используются установки штанговых глубинных насосов (ШГН), но зато по объемам добычи нефти, УЭЦН находится вне конкурентной борьбы. Порядка

80% всей нефти в России добываются с помощью бесштанговой насосной установкой – УЭЦН [3].

Установка погружного центробежного насоса (рисунок 2) состоит из погружного агрегата, который включает в себя многоступенчатый электроцентробежный насос 3, гидрозащиту 2 и электродвигатель 1. Он спускается в скважину на колонне НКТ 5, кабеля 4, арматуры устья 6, станции управления 7 и питающего трансформатора 8.

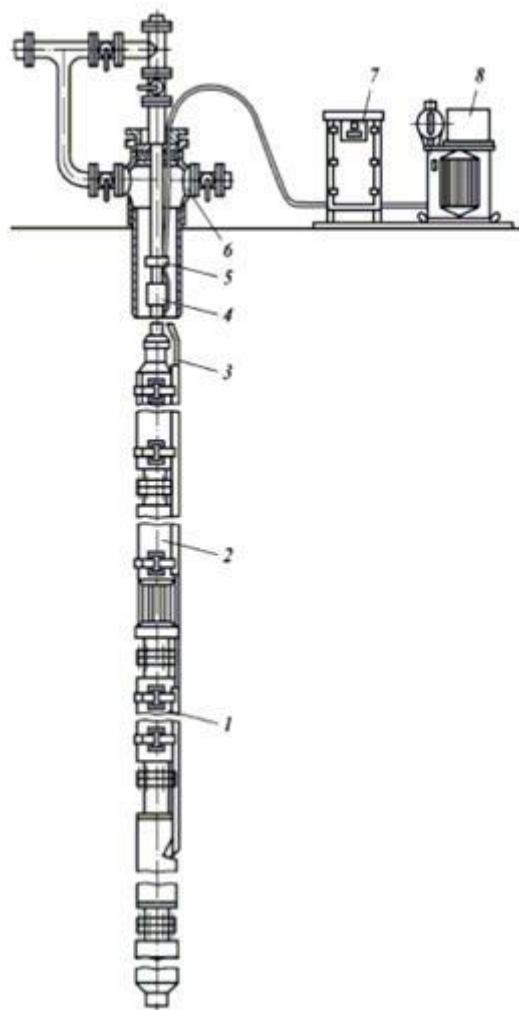


Рисунок 2 – Схема установки электроцентробежного насоса

Электроэнергия подается по кабелю от питающего трансформатора и станции управления на погружной электродвигатель. Электродвигатель приводит во вращения электроцентробежный насос. Вал электродвигателя с связан с валом электроцентробежного насоса через шпоночные соединения.

Выше насоса устанавливается обратный шаровой клапан, который облегчает пуск установки после простоя, а также предотвращает обратное вращение ротора электродвигателя которое возникает под воздействием столба жидкости в колонне НКТ при остановках.

Работа насоса заключается в создании центробежной силы, которая возникает при воздействии лопастей рабочего колеса на жидкость. Центробежные силы отбрасывают жидкость от центра колеса к периферии. В следствии этого в центральной части колеса создается разрежение, а на периферии повысится давление, в результате чего жидкость из насоса начнёт поступать в напорный трубопровод и, одновременно, из всасывающего трубопровода. начнёт поступать в насос. Таким образом, осуществляется непрерывная подача жидкости центробежным насосом из всасывающего в напорный трубопровод [3].

1.3 Разработка кинематической схемы электропривода УЭЦН

Кинематическая схема (рисунок 3) представляет собой последовательность передачи движения от двигателя через передаточный механизм к рабочему органу – насосному агрегату.

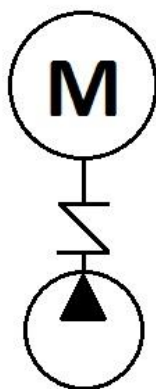


Рисунок 3 – Кинематическая схема электропривода УЭЦН

Рассмотрим более детально конструкции основных узлов установки скважинных центробежных насосов. ЭЦН подразделяется по исполнению на обычное, износостойкое. Электроцентробежный насос являет собой набор большого количества рабочих колес и направляющих агрегатов. Рабочие

колеса установлены на валу, который опирается на подшипники; находящиеся совместно с направляющими аппаратами внутри корпуса (рисунок 4).

Рабочие колеса 7 соединены с валом 3 посредством шпоночного соединения 6 и имеют возможность независимого осевого перемещения вдоль вала. В корпусе 4 установлены аппараты 5, поджатые гайкой в верхней части. Данная конструкция позволяет обеспечивать передачу осевого усилия направляющему аппарату.

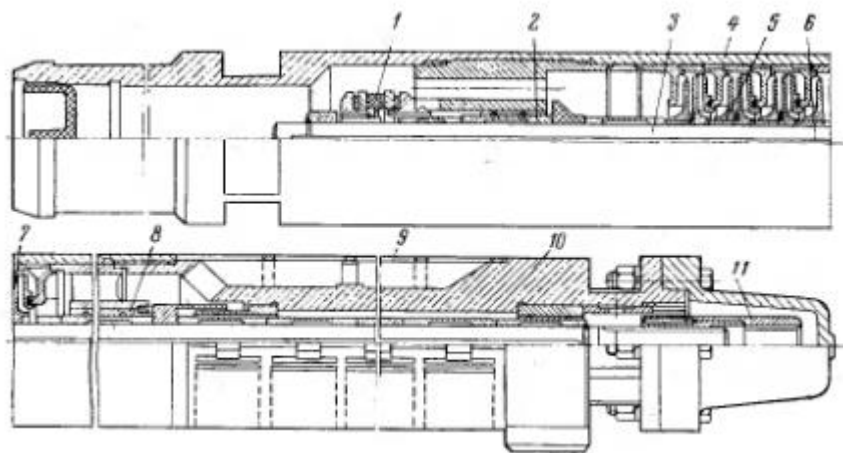


Рисунок 4 – Скважинный центробежный насос

После передачи усилия, вал разгружается от осевой нагрузки и передает лишь крутящий момент. Через текстолитовую шайбу 3 передается осевое усилие от колеса 1 к направляющему аппарату 2 (рисунок 5), образуя с опорной поверхностью аппарата пару трения, удовлетворительно работающую в пластовой жидкости [3].

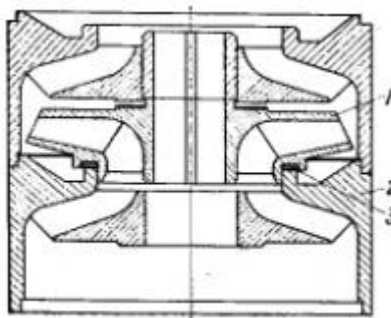


Рисунок 5 – Рабочее колесо центробежного насоса

При работе насоса часть осевого давления от колес, возникающее вследствие действия давления жидкости на торец вала создаваемое им также и из-за отложения солей, коррозии металла и наличия сил трения передается к валу. Осевое усилие принимается осевой опорой 1 скольжения, которая располагается в верхней части корпуса. Сверху и снизу установлены радиальные опоры 2 и 8. Вал насоса соединяется с валом протектора гидрозащиты электродвигателя с помощью шлицевого соединения 10. Пластовая жидкость попадает в насос через сетчатый фильтр 9, который располагается в нижней части корпуса, и, пройдя ступени насоса по осевому каналу, выходит из внутренней полости корпуса во внутреннюю поверхность колонны насосно-компрессорных труб [2].

Погружной электродвигатель (рисунок 6) представляет из себя трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, внутренняя полость которого заполняется маслом. Он состоит из корпуса 12, внутри которого расположены статор и ротор, вал 11, установленный на подшипниках, упорный подшипник при этом размещен в головной части состоящий из пяты 3 и подпятника 4. Статор собирают из отдельных чередующихся секций – магнитных 8 и немагнитных 9. Ротор состоит из пакета электротехнической стали 10. Радиальные подшипники скольжения располагаются в немагнитных секциях 7. Обмотка статора уложена в пазы статора, а медные стержни роторной короткозамкнутой обмотки уложены в специальные пазы «беличьей клетки». В колодке кабельного ввода 5 соединяются обмотки статора. Колодка располагается в головке 2.

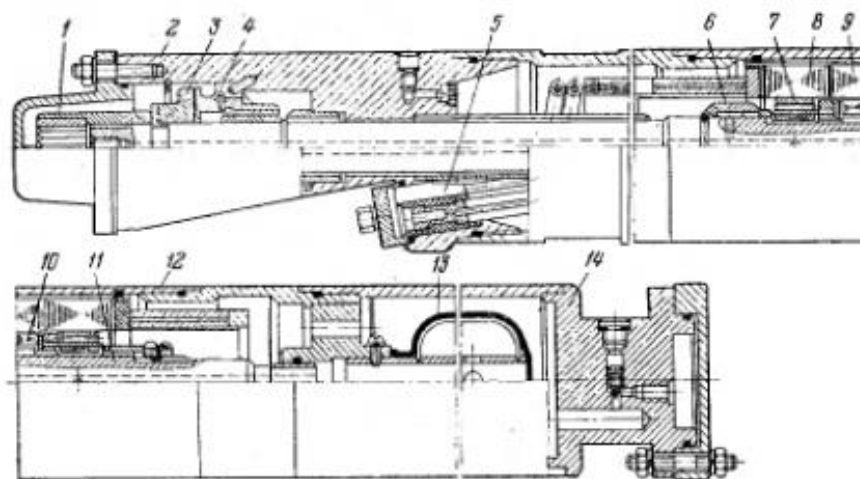


Рисунок 6 – Погружной электродвигатель

Установленная на валу турбина 6, предназначена для циркуляции масла внутри электродвигателя. Вращаясь, она заставляет масло двигаться между ротором и статором, в специальных отверстиях набора статора, проходит через фильтр 13, который располагается в нижней части вала. Масло выполняет несколько функций: смазывает подшипники и отводит тепло от источника нагрева к корпусу. Корпус, в свою очередь, охлаждается пластовой жидкостью.

С помощью фланцевого соединения в основании насоса 14 устанавливается компенсатор гидрозащиты, соединяемый с корпусом электродвигателя. С валом протектора соединяется вал электродвигателя с помощью муфты 1, а верхняя часть корпуса электродвигателя соединяется с протектором фланцевым соединением. Протектор выполняет функции гидравлической защиты электродвигателя от пластовой жидкости и обеспечивает, при изменении температуры, компенсацию изменения объема масла. Протектор устанавливается между насосом и погружным электродвигателем. Конструкцию протектора рассмотрим на примере гидрозащиты типа Г (рисунок 7) [3].

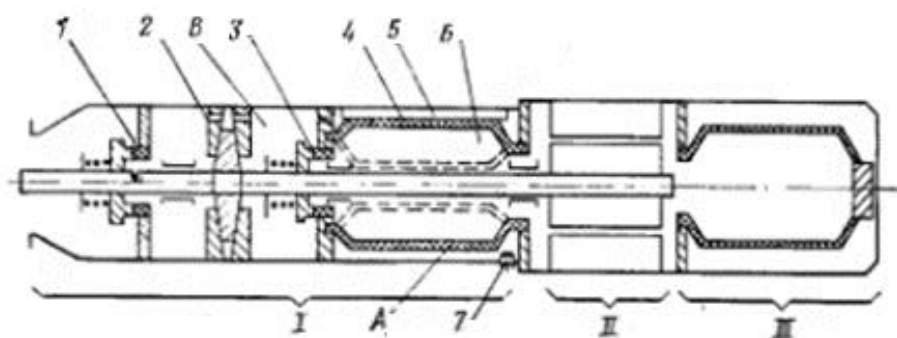


Рисунок 7 – Гидрозащита ПЭД

Протектор состоит из компенсатора объема масла III, который расположен ниже электродвигателя II, разделительной камеры с эластичной диафрагмой 4, вала с торцевыми уплотнениями и опорной пятой 2. Работа протектора осуществляется следующим образом: во внутренней полости (А) располагается масло малой вязкости, к примеру, трансформаторное, которым заполняется погружной двигатель. Эта полость сообщается с полостью (В) компенсатора объема масла через объем электродвигателя. Гибкий элемент передает давление окружающей среды в полость (В). Объем компенсатора уменьшается по мере расходования масла объемом. Когда происходит увеличение объема масла, в результате нагрева, объем компенсатора увеличивается. Масло, для смазки упорного подшипника, находится в полости (В). Упорный подшипник воспринимает осевую нагрузку от вала насоса. Выше и ниже пяты располагаются торцевые уплотнители: нижний — герметизирует внутреннюю полость (В), соединенную с электродвигателем, а верхний — позволяет предотвратить вытекание масла, которое в свою очередь смазывает опорный подшипник. По мере израсходования масла из полости (В) в полость (А), поступает скважинная жидкость, через клапан 7, где отстаивается и разделяется на нефть и воду. После полного израсходования масла, нефть, поступая в полость (В) через отверстия и трубку 5, будет смазывать подшипники вала протектора. На входе УЭЦН устанавливают газосепаратор который отделяет излишки газа и направляет их в затрубное пространство. На рисунке 8 представлена конструкция такого устройства [3].

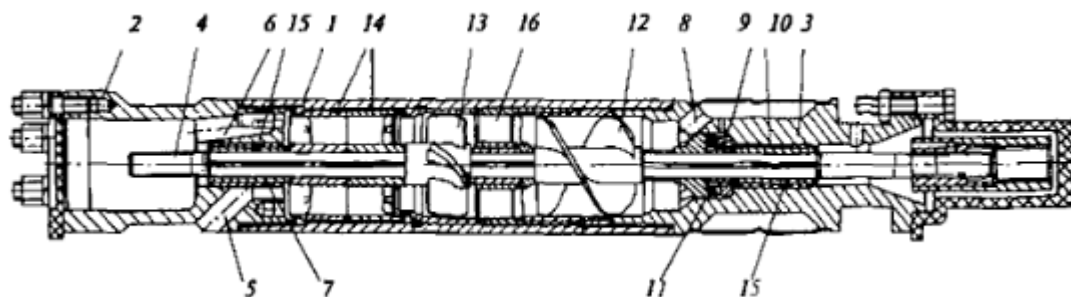


Рисунок 8 – Газосепаратор

Газосепаратор состоит из трубного корпуса 1 с головкой 2, основания 3 с приемной сеткой вала 4 с располагающимися на нем рабочими органами. В головке выполнены две группы перекрестных каналов, 5,6 для газа и жидкости и установлена втулка радиального подшипника 7. В основании размещены закрытая сеткой полость с каналами 8 для приема газожидкостной смеси, подпятник 9 и втулка 10 радиального подшипника. На валу размещены пяты 11, шнек 12, осевое рабочее колесо 13 с суперкавитирующим профилем лопастей, сепараторы 14 и втулки радиальных подшипников 15. В корпусе размещены направляющая решетка и гильзы.

На рисунке 9 представлена схема устьевых эжекторов.

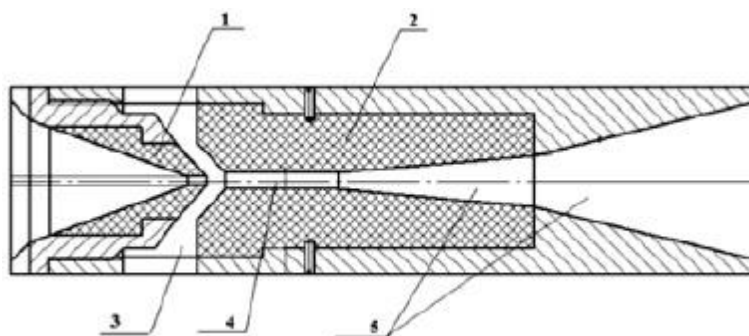


Рисунок 9 – Эжектор

Скважинная продукция под давлением поступает в сопло 1, в то время как в приемной камере 3 создается разрежение и под действием более высокого давления происходит закачка газа, далее скважинная продукция и газ из затрубья смешиваются в камере 4, и через камеру расширения подаются в НКТ [3].

2 Расчет и выбор основного силового оборудования регулируемого электропривода

Силовое электрооборудование – это устройства, которые предназначены для приема, учета и распределения электрической энергии, оборудование, обеспечивающее управления электроэнергией и контроль над ней.

Расчет необходимых параметров скважины и дальнейший выбор мощности насосного агрегата основан на [5,6].

2.1 Расчет и выбор ЭЦН

Необходимо подобрать ЭЦН с исходными данными приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для выбора ЭЦН

Потребное давление насоса P , МПа	Производительность Q , м ³ /сут	Диаметр Колонны D , мм	КПД насоса η_n , %
14,5	700	176	70

Определяем мощность насоса:

$$P_H = \frac{P \cdot Q}{\eta_n \cdot 24 \cdot 3600} \quad (2.1)$$

$$P_H = \frac{14.5 \cdot 10^6 \cdot 700}{0.7 \cdot 24 \cdot 3600} = 167.8 \text{ кВт}$$

Выбираем насос GN5180 который производит фирма REDA. Данный тип насоса удовлетворяет необходимым требованиям представленных в таблице 1. В таблице 2 представлены технические характеристики выбранного насоса [7].



Рисунок 10 – Общий вид электроцентробежного насоса

Таблица 2 – Технические характеристики насоса GN5180

Марка насоса	Общий диаметр, мм	Дебит м³/сут	Точка наивысшей эффективности м³/сут	Мощность кВт
GN5180	137	520 - 880	730	180

2.2 Расчет и выбор погружного электродвигателя

Определение мощности погружного двигателя:

$$P_{пэд} = \frac{P_H}{\eta_{пэд}} \quad (2.2)$$

$$P_{пэд} = \frac{168.8 \cdot 10^3}{0.85} = 197.4 \text{ кВт}$$

Из отечественных производителей требуемым параметрам соответствует погружной электродвигатель производства ОАО «Алнас».

Погружные маслonaполненные трехфазные асинхронные с короткозамкнутым ротором двухполюсные электродвигатели применяются в качестве электромеханического исполнительного устройства для центробежных насосов в нефтегазодобывающей отрасли.

Наиболее подходящий по параметрам погружной электродвигатель ЭДСТ220–117М [8] представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Погружной электродвигатель ЭДСТ220–117М

Технические характеристики погружного электродвигателя представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики ЭДСТ220–117М

Тип ПЭД	Номинал ная мощност ь, кВт	Номинальное напряжение, В	Номинальн ый ток, А	КПД %	cosφ	Скол ьжен ие %	Момент на валу Кгс*м
ЭДСТ220 -117М6	220	2700	64	84,0	0,84	5,5	1,8

Погружные электродвигатели этой серии соответствуют высокому качеству и надежности, позволяя эксплуатировать их в суровых условиях

2.3 Расчет и выбор типа сечения кабеля

Выбор питающего кабеля осуществляется на основе расчета [10].

Определяем сечение жилы кабеля:

$$S = \frac{I_{раб}}{i} \quad (2.3)$$

$$S = \frac{64}{5} = 10.8 \text{ мм}^2$$

где $I_{раб}$ – номинальный ток выбранного электродвигателя, А; $i = 5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ – плотность рабочего тока в кабеле.

По номинальному току электродвигателя выбирается необходимое сечение кабельной жилы.

Определяем потери мощности в кабеле:

$$R = \rho_{\text{меди}} \cdot (1 + \alpha T \cdot (T - T_{20})) \cdot \frac{1}{S} \quad (2.4)$$

$$R = 0.0175 \cdot (1 + 0.004 \cdot (58.226 - 20)) \cdot \frac{1}{10.8} = 1.462 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

где $\rho_{\text{меди}}$ – удельное сопротивление меди, $\text{Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$; αT – температурный коэффициент для меди; $T_{20} = 20^\circ \text{С}$.

Общая длина кабеля:

$$L_K = L_{\text{подв}} + 100 = 1466 \text{ м}; \quad (2.5)$$

Рассчитаем потери в кабеле:

$$\Delta P_K = 3 \cdot I_{\text{раб}}^2 \cdot R \cdot L_K \cdot 10^{-3} \quad (2.6)$$

$$\Delta P_K = 3 \cdot 69^2 \cdot 1.462 \cdot 10^{-3} \cdot 1466 \cdot 10^{-3} = 30.6 \text{ Вт}$$

Выберем кабель марки КППП-90 сечением $13,3 \text{ мм}^2$ от компании «Камский кабель» [11].

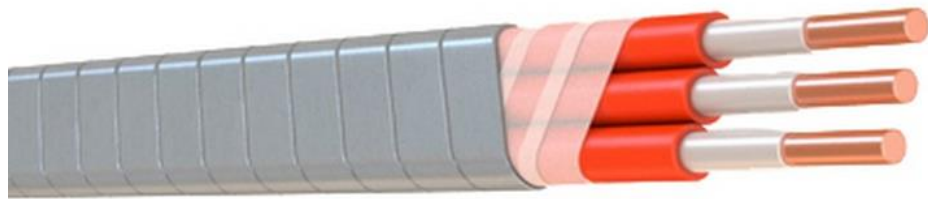


Рисунок 12 – Силовой кабель марки КППП-90

Данный тип кабеля специально предназначен для электропитания погружных электродвигателей на максимальное рабочее напряжение переменного тока 3300 В частоты 50 Гц.

2.4 Расчет и выбор станции управления

Преобразователь частоты (ПЧ) применяется для осуществления плавного пуска электродвигателя и регулирования скорости, благодаря созданию на выходе преобразователя параметров питающей сети заданной частоты и напряжения. Преобразователь частоты включает в свою силовую цепь два основных устройства – выпрямитель и инвертор. С помощью этих устройств происходит двойное преобразование электрической энергии: сначала выпрямитель преобразует переменный ток в постоянный и подается на вход инвертора, а инвертор, уже преобразует из постоянного в переменный с необходимыми заданными параметрами. Обратим внимание на продукцию Чебоксарского электроаппаратного завода, который предлагает модульный тип исполнения преобразователей частоты в широких диапазонах работы. К тому же данное комплектное устройство обладает высокой

надежностью и не требует дополнительных затрат на монтаж основного оборудования [12].

Мощность преобразователя:

$$S_u = \frac{S_{\partial\partial}}{\eta_{\partial\partial}} \quad (2.7)$$

$$S_u = \frac{311.8 \cdot 10^3}{0.84} = 371.2 \text{ кВА}$$

где $S_{\partial\partial}$ – полная мощность двигателя и находится как:

$$S_{\partial\partial} = \frac{P_{\partial\partial}}{\eta_{\partial\partial} \cdot \cos \varphi} \text{ кВА} \quad (2.8)$$

$$S_{\partial\partial} = \frac{220 \cdot 10^3}{0.84 \cdot 0.84} = 311.8 \text{ кВА}$$

$\eta_{\partial\partial}$ – КПД двигателя.

Максимальный ток фазы:

$$I_{u.\text{макс}} = \frac{S_u}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} \quad (2.9)$$

$$I_{u.\text{макс}} = \frac{372 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3818} = 56.2 \text{ А}$$

где S_u – полная мощность инвертора;

$U_{\text{л}}$ – линейное напряжение.

Рассчитаем мощность трансформатора, обеспечивающего питание двигателя. Он должен быть подобран таким образом, чтобы он не влиял на изменения параметров работы электродвигателя [10].

При расчете полной мощности трансформатора учитывается полная мощность, потребляемая электродвигателем для питания двигателя, а также учитываются потери, которые возникают в кабельной линии:

$$S_{TP} = \Delta P_K + \frac{P_{ПЭД}}{\eta_{ПЭД} \cdot \cos \varphi} \quad (2.10)$$

$$S_{TP} = 30.6 + \frac{220 \cdot 10^3}{0.84 \cdot 0.84} = 312 \text{ кВА}$$

На основе расчетных данных выбираем преобразователь частоты ВЧРП-ТМ [9], технические данные которого представлены в таблице 4 а общий вид комплектного устройства показан на рисунке 13.

Таблица 4 – Технические характеристики преобразователя частоты ВЧРП-ТМ

Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Ориентированная мощность двигателя, кВт	Выходная мощность преобразователя, кВА
70	3000	273	360



Рисунок 13 – Преобразователь частоты ВЧРП-ТМ

Данный тип преобразователей генерирует малое количество гармонических составляющих в питающую сеть и в цепь асинхронной

машины, в связи с этим установка не нуждается в дополнительных технических мероприятиях в цепи электроснабжения таких как установка фильтров гармоник и синус фильтров.

2.5 Расчет аппаратов защиты

Выбор автоматического выключателя должен быть выполнен исходя из условий [10]:

$$I_{расц} \geq I_{дл}, I_{дл} \geq I_{н.ЭП} = 56.2A, \quad (2.11)$$

где $I_{дл}$ - длительный ток

$$I_{кз} \geq 1,25I_{кр} = 1,25 \cdot 281 = 352 A, \quad (2.12)$$

где $I_{кр} = I_n = 281A$ - критический ток, $I_{кз}$ - ток короткого замыкания

Плавкие предохранители выбираются исходя из расчета:

$$I_{BC} \geq I_{н.ЭП} \quad (2.13)$$

где I_{BC} - ток плавкой вставки;

где $I_{н.ЭП}$ - номинальный ток электроприемника.

2.6 Принципиальная электрическая схема управления ПЭД

На рисунке 14 представлена принципиальная электрическая схема погружного электродвигателя, которая составлена на основе рассчитанного оборудования.

Блок комплектно устройства – это универсальный частотно-регулируемый преобразователь, который на выходе оснащен силовым повышающим трансформатором. Силовая полупроводниковая часть состоит из выпрямительного моста и инвертора. В данных преобразовательных устройствах используются высоконадежные элементы, которые гарантируют коэффициент мощности в 95% в следствии этого не требуются дополнительные устройства, повышающие качество электроэнергии. Питание осуществляется через сеть 0,4 кВ. На входе ВЧРП установлена защита –автоматический выключатель и предохранители [9].

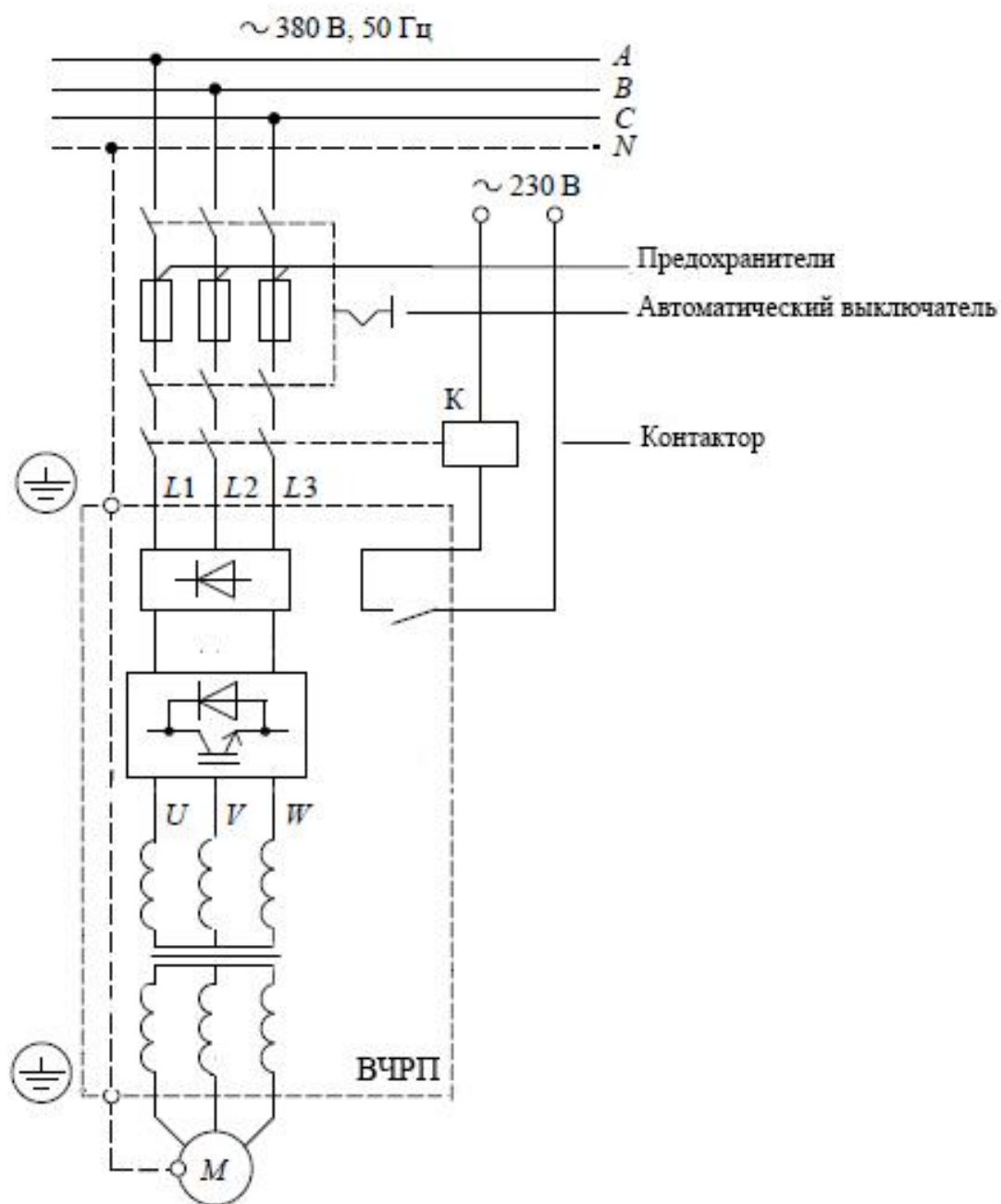


Рисунок 14 – Принципиальная электрическая схема электропривода

3 Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы электропривода

Под статическими характеристиками чаще всего подразумеваются электромеханическая и механическая характеристика.

Механическая характеристика – это зависимость угловой скорости вращения вала от электромагнитного момента M (или от момента сопротивления M_c). Механические характеристики являются очень удобным и полезным инструментом при анализе статических и динамических режимов электропривода.

Электромеханическая характеристика – это зависимость угловой скорости вращения вала ω от тока I .

Динамическая характеристика электропривода – это зависимость между мгновенными значениями двух координат электропривода для одного и того же момента времени переходного режима работы [13].

3.1. Расчет естественных электромеханической и механической характеристик электропривода

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения [13]. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов АД является Т-образная схема замещения (рисунок 15).

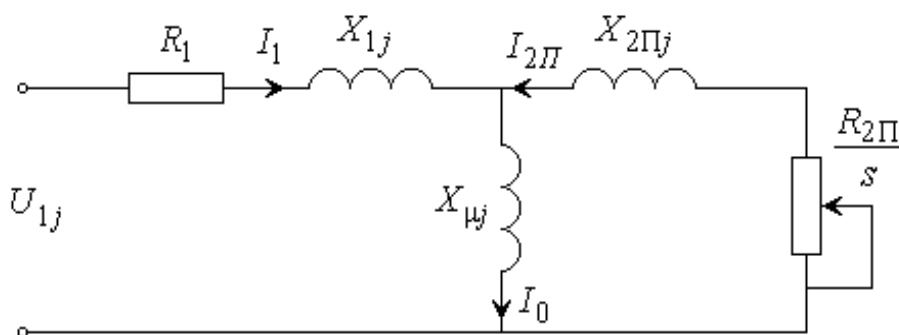


Рисунок 15 - Схема замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} \quad (3.1)$$

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314.2 \text{ рад/с}.$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s) \cdot \omega_0 \quad (3.2)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - 0.055) \cdot 314.2 = 296.8 \text{ рад/с}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} \quad (3.3)$$

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{220 \cdot 10^3}{296.8} = 741 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора

$$U_{1\phi\text{н}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{2}} \quad (3.4)$$

$$U_{1\phi\text{н}} = \frac{3818}{\sqrt{2}} = 2700 \text{ В}$$

$$I_{1\phi\text{н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\phi\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (3.5)$$

$$I_{1\phi\text{н}} = \frac{220 \cdot 10^3}{3 \cdot 2700 \cdot 0.84 \cdot 0.84} = 38.5 \text{ А}$$

Из формулы Клосса определяем соотношение, которое необходимо для расчета критического скольжения:

$$s_k = s_H \frac{k_{MAX} + \sqrt{(k_{MAX})^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)} \quad (3.6)$$

$$s_k = 0.055 \frac{1.4 + \sqrt{1.4^2 - [1 - 2 \cdot 0.055 \cdot 1 \cdot (1.4 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.055 \cdot 1 \cdot (1.4 - 1)} = 0.138$$

где k_{MAX} - перегрузочная способность АД,

$\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2')$ - значение коэффициента β находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

Для расчета приведенных сопротивлений цепей ротора и статора необходимо найти коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \quad (3.7)$$

$$C_1 = 1 + \frac{7.2}{2 \cdot 6 \cdot 38.5} = 1.016$$

$$A_1 = m U_{1\phi}^2 (1 - s_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{MAX} \cdot P_H) \quad (3.8)$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot 2700^2 (1 - 0.055)}{2 \cdot 1.016 \cdot 1.4 \cdot 220 \cdot 10^3} = 33.033.$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1 / s_k) \cdot C_1 \quad (3.9)$$

$$R_2' = \frac{33.033}{\left(1 + \frac{1}{0.138}\right) \cdot 1.016} = 3.949 \text{ Ом}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2\pi f_{1H}} \quad (3.10)$$

$$L'_{2\sigma} = \frac{0.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.001592 \text{ Гн}$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta \quad (3.11)$$

$$R_1 = 1.016 \cdot 3.949 \cdot 1 = 4.011 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\pi f_{1H}} \quad (3.12)$$

$$L_{1\sigma} = \frac{12.073}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.038 \text{ Гн}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} \quad (3.13)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{0.138^2}\right) - 1^2} = 7.167$$

Тогда значение индуктивного сопротивления КЗ равно:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 \quad (3.14)$$

$$X_{KH} = 7.167 \cdot 1.016 \cdot 3.949 = 28.744 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано:

$$X'_{2H} = 0.58 \cdot X_{KH} / C_1 \quad (3.15)$$

$$X'_{2H} = 0.58 \cdot \frac{28.744}{1.016} = 16.415 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть

определено по следующему выражению:

$$X_{1H} = 0.42 \cdot X_{KH} \quad (3.16)$$

$$X_{1H} = 0.42 \cdot 28.744 = 12.073 \text{ Ом}$$

По найденным значениям переменных C_1 , R_2' , R_1 и X_K определим критическое скольжение:

$$s_K = \frac{C_1 R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} \quad (3.17)$$

$$s_K = \frac{1.016 \cdot 3.949}{\sqrt{3.949^2 + 28.744^2}} = 0.138$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1j} \cdot \cos \phi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1j} \cdot \sin \phi_{1H} + X_{1H} \cdot I_{1H})^2} \quad (3.18)$$

$$E_1 = \sqrt{(2700 \cdot 0.84 - 4.011 \cdot 38.5)^2 + (2700 \cdot 0.543 + 12.073 \cdot 38.5)^2} = 2338 \text{ В}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu H} = E_1 / I_0 \quad (3.19)$$

$$X_{\mu H} = \frac{2338}{7.2} = 323.2 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2\pi f_{1H}} \quad (3.20)$$

$$L_{\mu H} = \frac{323.2}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 1.029 \text{ Гн}$$

Электрохимическая характеристика АД, определяется зависимостью приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}} \quad (3.21)$$

где U_1 - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

Задаваясь значениями скольжения можно рассчитать соответствующее значение тока и воспользовавшись формулой

$$\omega = \omega_0(1 - s)$$

получить соответствующее значение угловой скорости.

Полагая, что ток намагничивания двигателя имеет полностью реактивный характер, выражение для электромеханической характеристики, описывающей зависимость тока статора от скольжения, запишется следующим образом:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} \quad (3.22)$$

Задаваясь скольжением s рассчитываем естественные электромеханические характеристики АД, приведенные на рисунке 16.

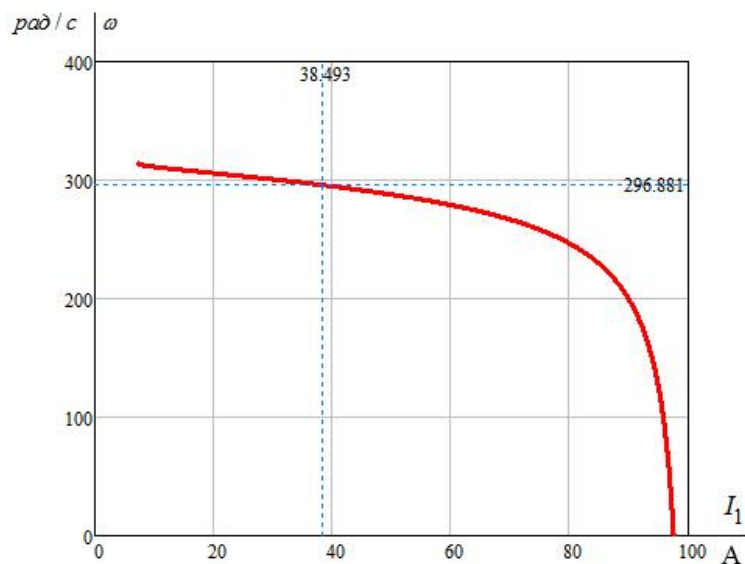


Рисунок 16 – Естественные электромеханические характеристики

Механическую характеристику асинхронного двигателя можно рассчитать по следующему выражению:

$$M(s) = \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_0 s \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 \right]} \quad (3.23)$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя имеет критический момент и критическое скольжение, которые определяются по следующим формулам:

$$M_K = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2} \right]} \quad (3.24)$$

$$M_K = \frac{3 \cdot 2700^2}{2 \cdot 314.2 \cdot 1.016 \cdot \left[4.011 + \sqrt{(4.011^2 + 28.744^2)} \right]} = 1054 \text{ Нм},$$

Задаваясь скольжением s рассчитываем естественную механическую характеристику АД, приведенную на рисунке 17.

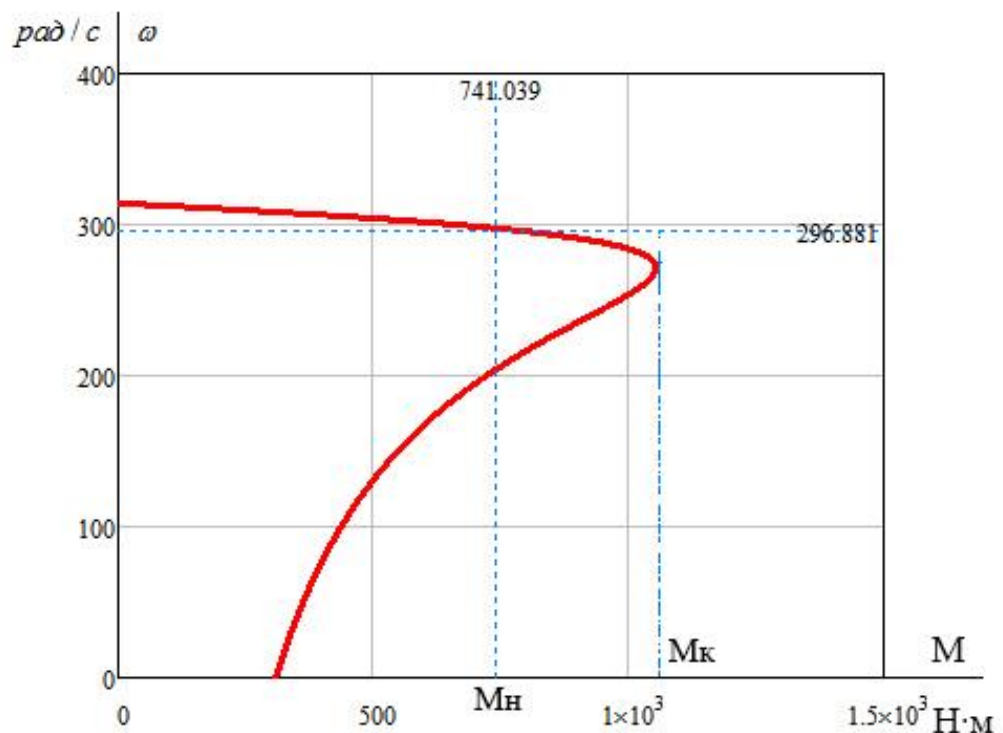


Рисунок 17 – Механическая характеристика АД

3.2 Расчет механической характеристики производственного механизма

Механическая характеристика производственного механизма есть зависимость момента сопротивления M_c механизма от его угловой скорости:

$$M_c = f(\omega)$$

Нагрузка в виде центробежного насоса относится к типу нелинейно-возрастающей механической характеристике производственного механизма. И описывается следующим уравнением:

$$M_c = M_0 + k \cdot \omega^x \quad (3.25)$$

где M_0 – момент сопротивления от сил трения в движущих частях производственного механизма;

k – коэффициент пропорциональности;

x – показатель степени, при движении в жидкостях $x=3$.

Найдем коэффициент пропорциональности:

$$k = \frac{M_n - M_0}{\omega^3} \quad (3.26)$$

где $M_0 = 0.075M_H$

$$k = \frac{741 - 51.8}{296.8^3} = 2.6 \cdot 10^{-5}$$

Тогда механическая характеристика механизма будет равна:

$$M_c = M_0 + k \cdot \omega^3 = 51.8 + 2.6 \cdot 10^{-5} \cdot 296.8^3 = 741.098$$

На рисунке 18 приведена механическая характеристика двигателя и характеристика полного момента сопротивления на валу

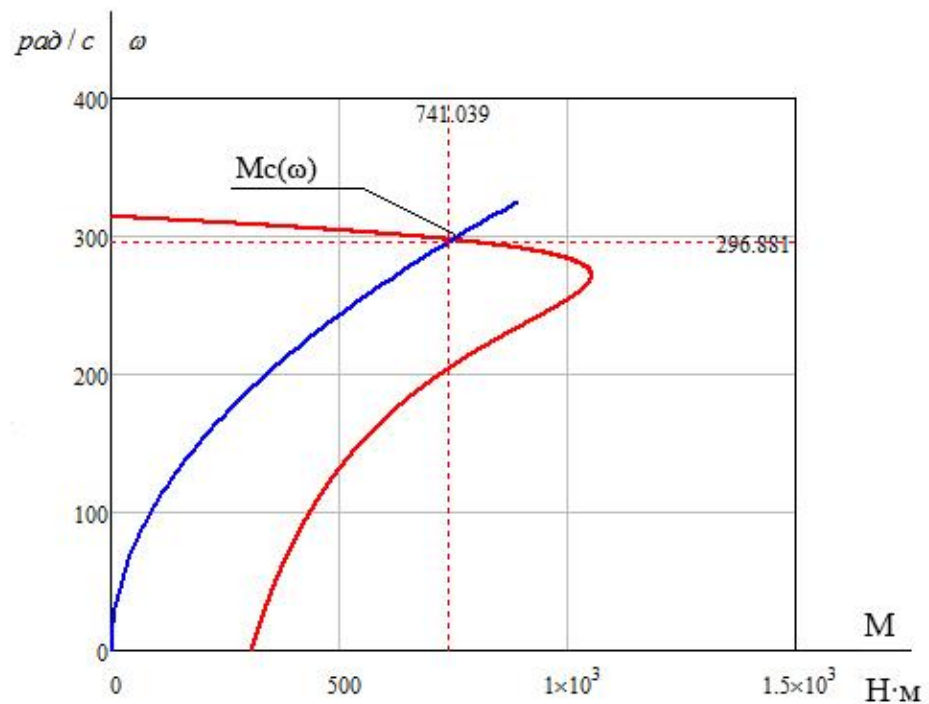


Рисунок 18 – Механическая характеристика двигателя и характеристика полного момента сопротивления на валу

3.3 Расчет искусственных характеристик системы «преобразователь- двигатель»

Механизмы по типу нагрузки, относящиеся к нелинейно-возрастающим, как правило, не требуют широкого диапазона регулирования и не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования U/f могут быть выбраны законы

$$\frac{U_1}{f_1} = const ;$$

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const .$$

Так как повышение энергоэффективности электропривода является приоритетной задачей то, следовательно, выбираем второй закон управления.

Рассчитываем вольт-частотную характеристику по следующему выражению:

$$U_1(f_1) = U_{1\phi} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2 \quad (3.27)$$

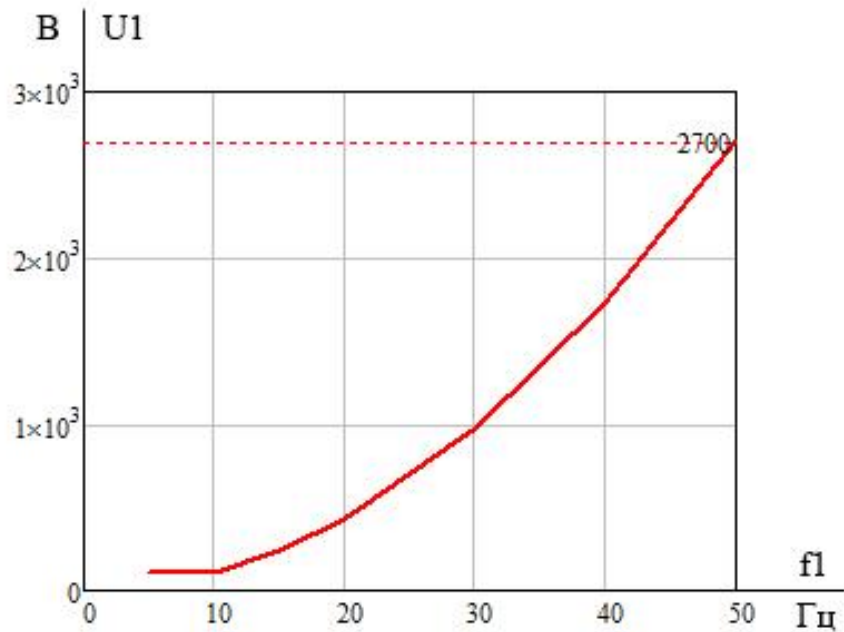


Рисунок 19 – Вольт частотная характеристика преобразователя

Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при выбранном законе регулирования для ряда выбранных значений выходной частоты в интервале от 5 до 50 Гц рассчитываются следующим образом:

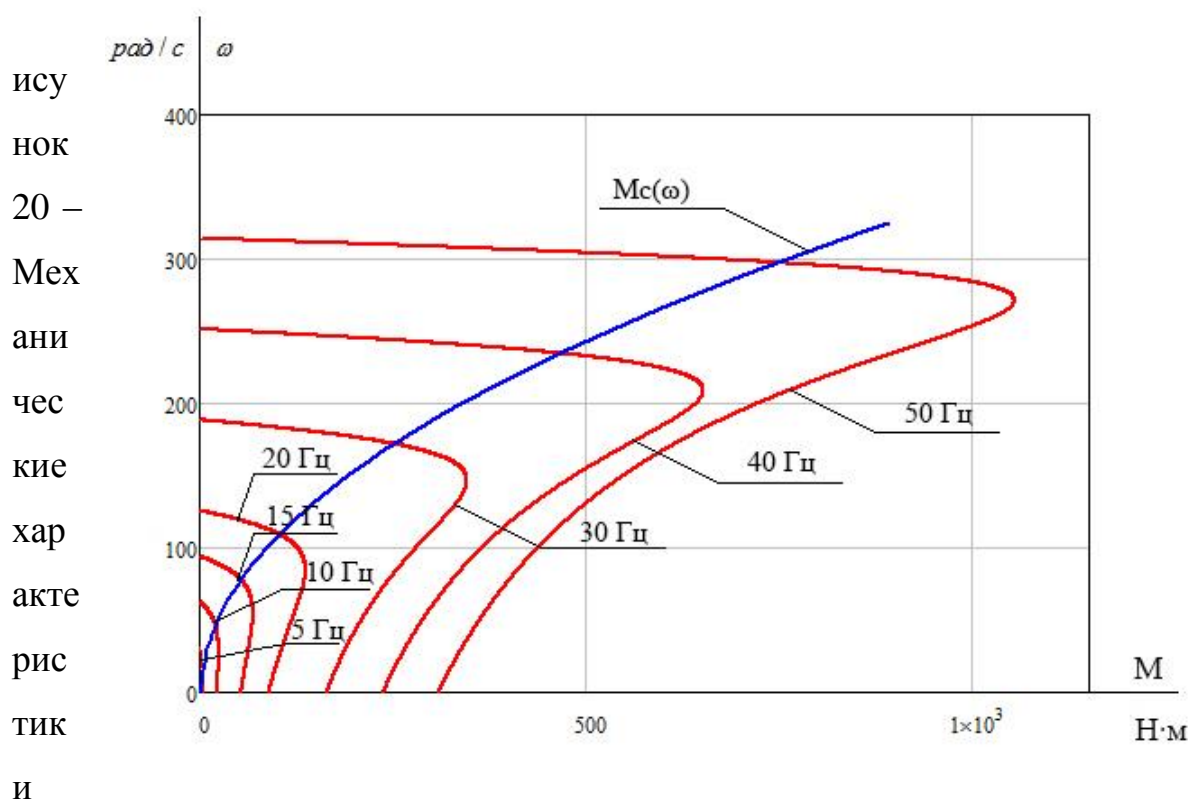
$$M(s, f_1) = \frac{3U_1^2(f_1)R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1n}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2 \right]} \quad (3.28)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\phi} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2$$

$$\omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1n}}$$

По результатам расчета построено семейство механических характеристик системы преобразователь–двигатель при изменении частоты питающей сети, которые представлены на рисунке 20.



системы преобразователь- двигатель

Анализируя приведенные выше характеристики, делаем вывод о том, что при данном законе регулирования не удастся обеспечить нормальную работу электропривода при частоте ниже 20 Гц.

Перед нами стоит задача обеспечить пуск электродвигателя при частоте 5 Гц, осуществить разгон при частоте 25 Гц и в конечном итоге выход на номинальную частоту вращения 50 Гц. Следовательно, необходимо произвести настройку вольт-частотной характеристики.

Настройка вольт-частотной характеристики осуществляется с помощью выражения:

$$U_1(f_1) = U_{1нач} + (U_{1фн} - U_{1нач}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 \quad (3.29)$$

Для осуществления пуска при начальной частоте 5 Гц, примем добавку по напряжению $U_{1нач} = 70B$, для частоты 25 Гц введем добавку $U_{2нач} = 50B$, тогда механические характеристики с учетом настройки вольт-частотной характеристики будут иметь вид как показано на рисунке 21.

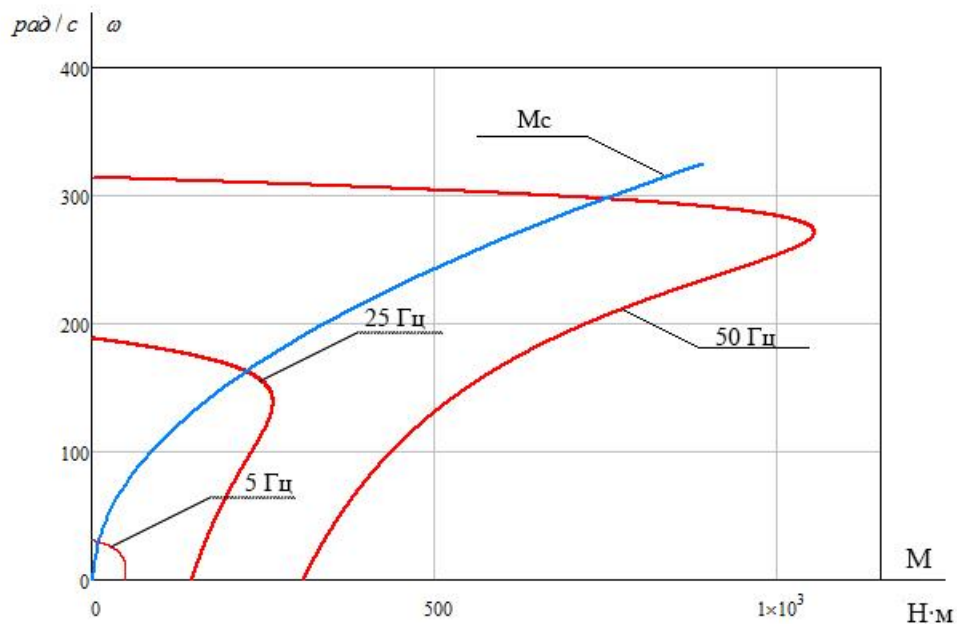


Рисунок 21 – Механические характеристики с учетом настройки
вольт-частотной характеристики

3.3.1 Расчет и построение искусственных характеристик системы преобразователь-двигатель с IR-компенсацией

Электромеханические характеристики с применением IR-компенсации, определяющие зависимость приведенного тока ротора от скольжения, рассчитываются по следующим выражениям:

$$I'_{2n}(s) = \frac{U_{1n}}{\sqrt{\left(R_{1эквN} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1n}^2 + \left(\frac{R_{1эквN} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu n} \cdot f_{1n}}\right)^2}}; \quad (3.30)$$

где $R_{1эквN}$ – эквивалентные значения сопротивления статора с учетом коэффициента IR-компенсации, которое находится через:

$$R_{1эквN} = R_1 \cdot (1 - K_{KMn})$$

K_{KMn} – коэффициент IR-компенсации, которые принимаются для значения при разных частотах и равны $K_{KM1} = 0.25$, $K_{KM2} = 0.5$, $K_{KM3} = 0.5$

Параметры питающей сети принимаются с учетом настройки вольт-частотной характеристики, которые были рассчитаны ранее по выражению (3.28).

Электромеханические характеристики приведенного значения тока в фазе обмотки ротора от скольжения приведены на рисунке 22.

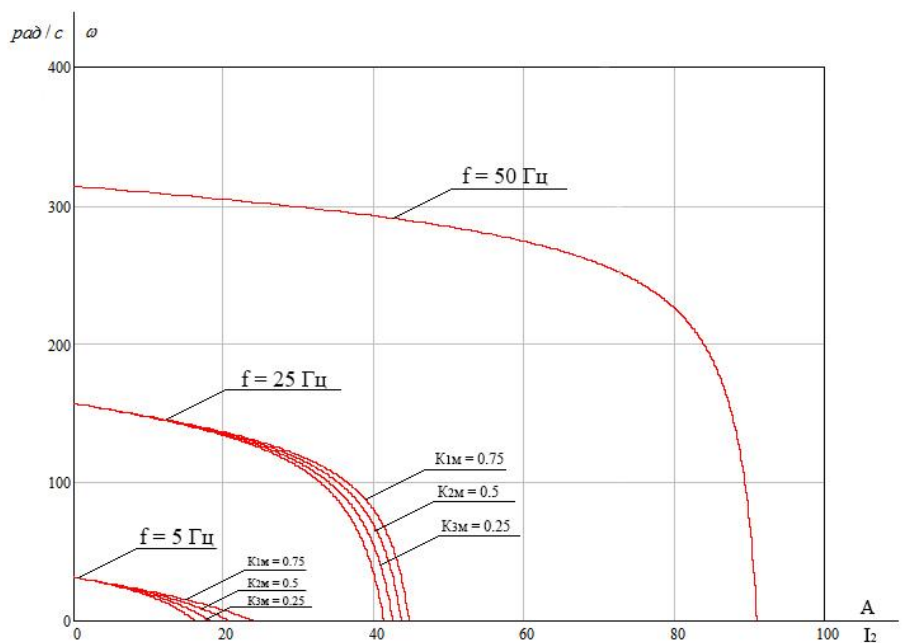


Рисунок 22 – Электромеханическая характеристика приведенного значения тока ротора от скольжения

Далее построим зависимости тока статора от скольжения, рассчитав их по следующему выражению:

$$I_{1n}(s) = \sqrt{I_0^2 + I_{2n}'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2n}'(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{кн} \cdot f_{1n}}{\sqrt{\left(R_{1эквN} + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1n}^2}} \right]} \quad (3.31)$$

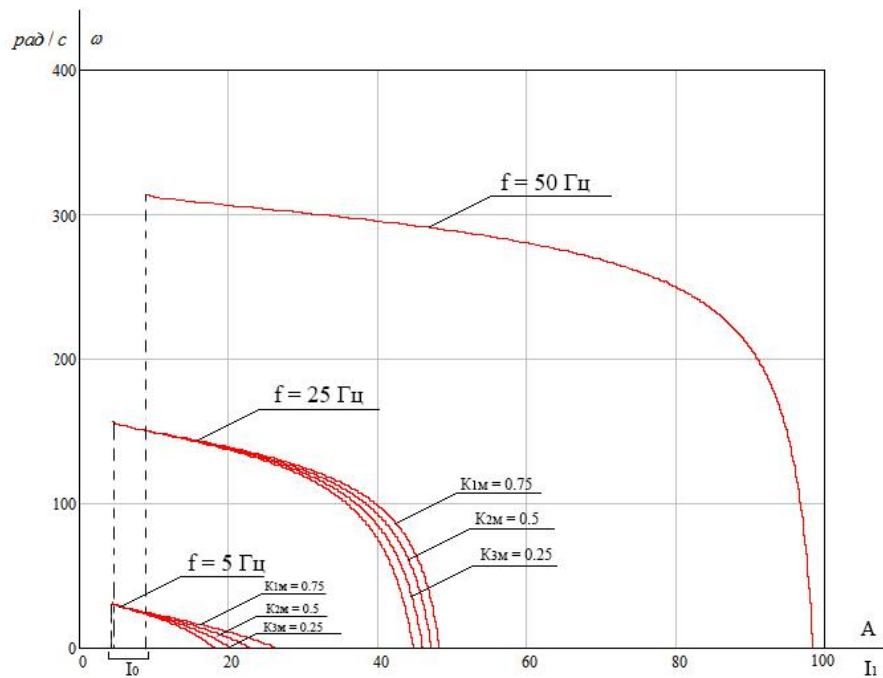


Рисунок 23 – Зависимость тока статора от скольжения с применением IR-компенсации

Рассчитаем и построим искусственные механические характеристики с применением IR-компенсации по выражению (3.32).

$$M_1(s) = \frac{3 \cdot U_{1нN}^2 \cdot R'_2}{\omega_n \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot f_{1н}^2 + \left(R_{1экN} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1экN} \cdot R'_2}{s \cdot X_{μн} \cdot f_{1н}} \right)^2 \right]}; \quad (3.32)$$

Расчет искусственных механических характеристик производится с учетом настройки вольт-частотной характеристики (3.28). Рассчитанная искусственная механическая характеристика представлена на рисунке 24.

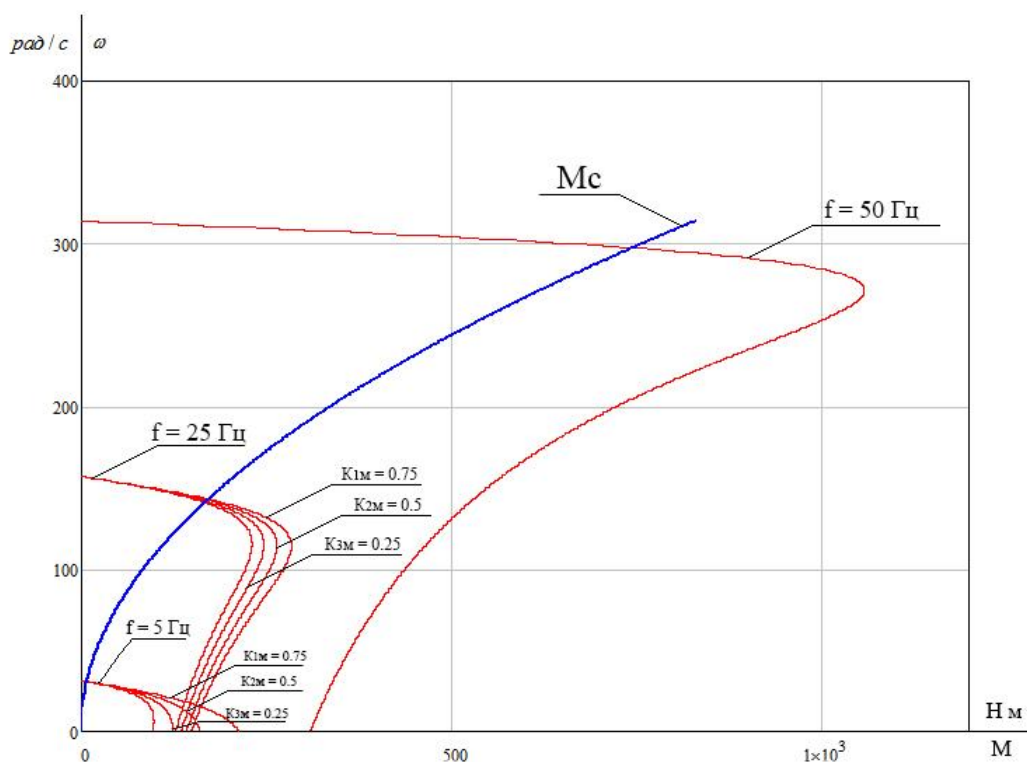


Рисунок 24 – Искусственная механическая характеристика с применением IR-компенсации

Анализ полученных данных, позволяет сделать вывод о том, что рассчитанные искусственные характеристики позволяют обеспечить оптимальные режимы работы электропривода насосного агрегата. Благодаря настройке вольт-частотной характеристике двигатель имеет запас по электромагнитному моменту даже при минимальной питающей частоте $f = 5$ Гц. В купе с применением IR-компенсации искусственная механическая характеристика стала более жесткой и работа электропривода более энергоэффективной, это обусловлено компенсацией падения напряжения в обмотках электродвигателя, полученный эффект особенно заметен на малых частотах питающего напряжения.

4 Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением в имитационной среде MatlabSimulink

MATLABSimulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы.

4.1 Имитационная модель силового канала электропривода

Силовой канал электропривода погружного насосного агрегата включает в себя следующие функциональные составляющие:

- преобразователь частоты;
- трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором;
- механическая система.

На рисунке 25 представлена структурная схема силового канала электропривода. Схема двигателя реализована на базе структурной схемы двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат α, β .

Схема имеет следующие обозначения:

1 – Формирователь фазных напряжений, который выполняет функции преобразователя с помощью которого осуществляется управление двигателем;

2 – двухфазный асинхронный двигатель в неподвижной системе координат α, β , имитирующий работу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;

3 – одномассовая механическая система, имитирующая нагрузку.

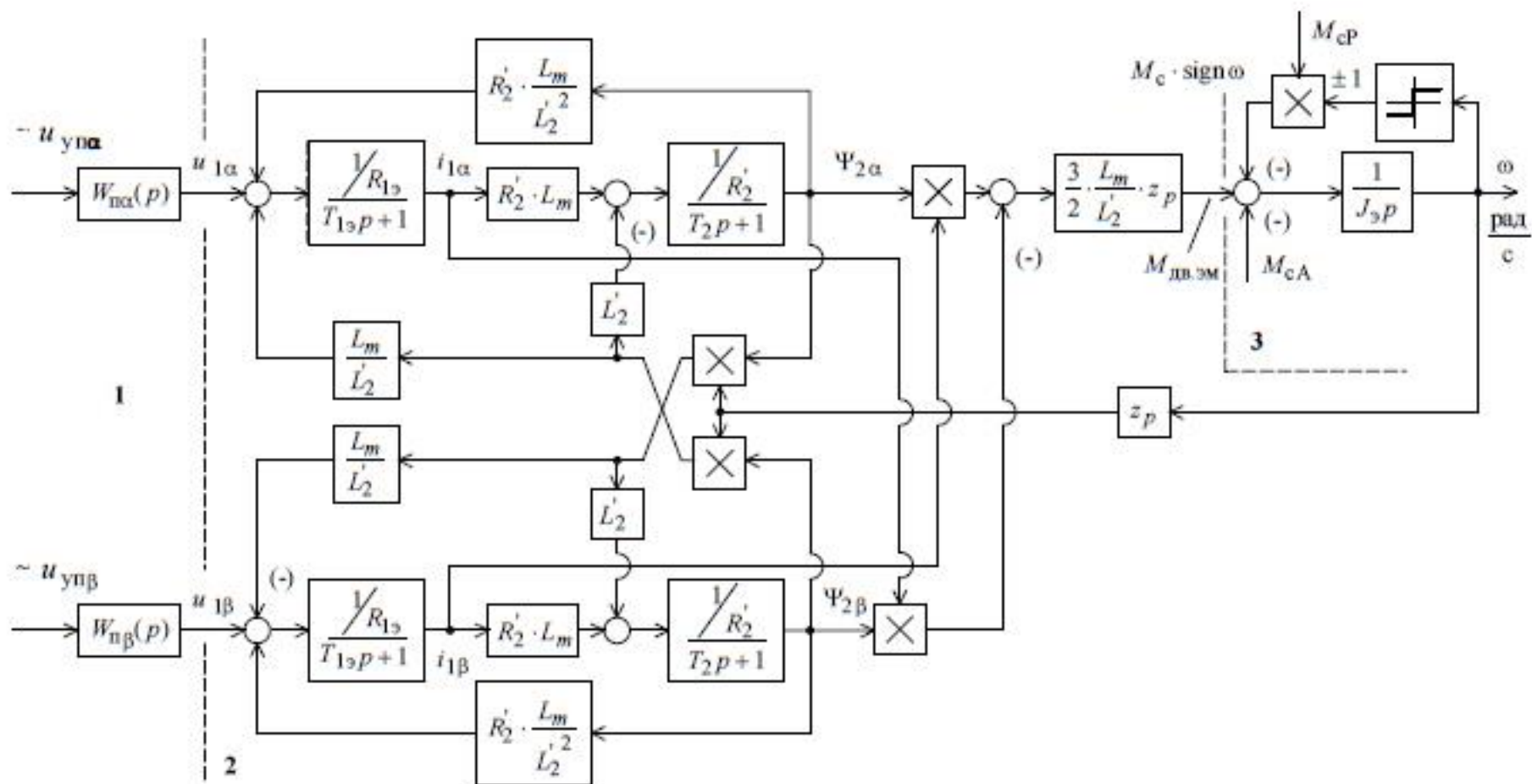


Рисунок 25 – Структурная схема силового канала электропривода в неподвижной системе координат α, β .

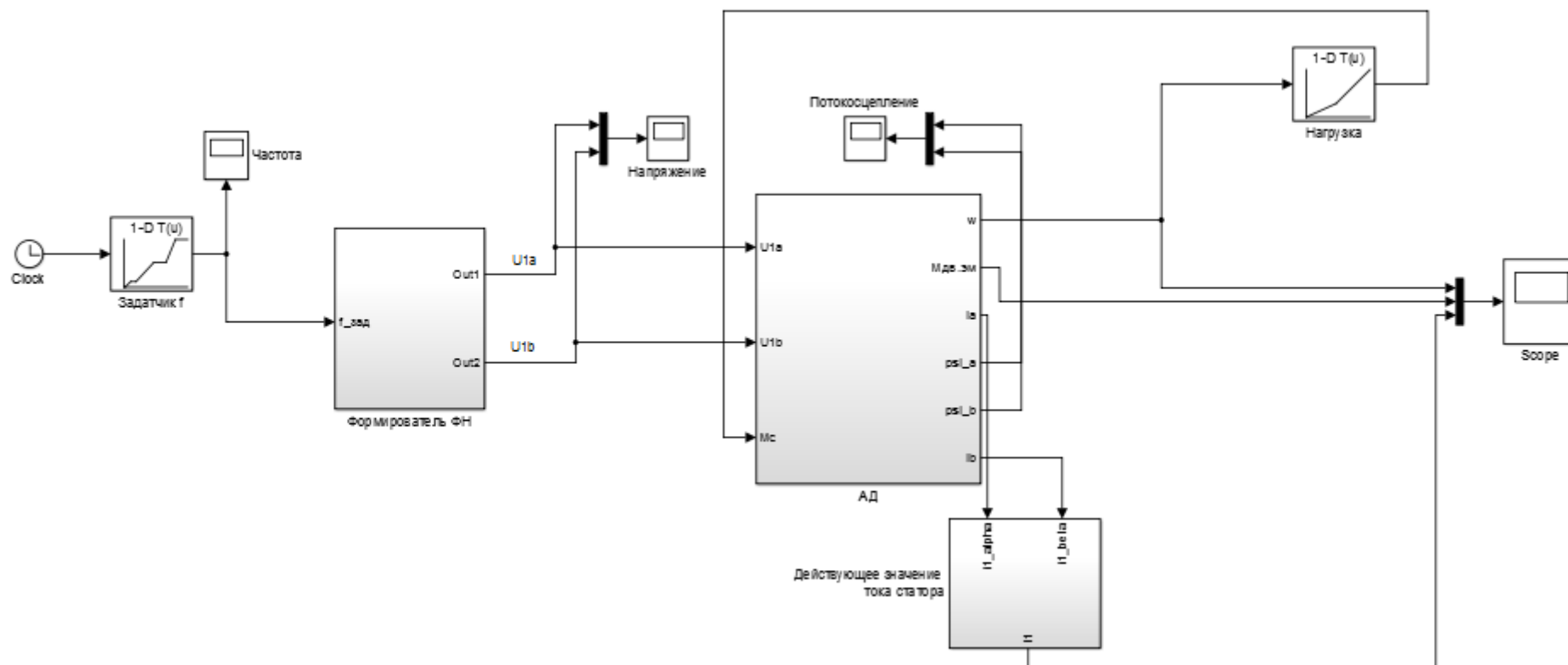


Рисунок 26 – Имитационная модель силового канала электропривода с нелинейно-возрастающей нагрузкой

Входными величинами на входе структурной схемы являются фазные напряжения статорных обмоток, двухфазного АД, которые описываются следующими выражениями:

$$U_{1\alpha}(t) = U_{1m} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) \quad (4.1)$$

$$U_{1\beta}(t) = U_{1m} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t).$$

В имитационной среде MatlabSimulink выполним построение модели силового канала электропривода. Для начала, построим модель асинхронного двигателя (рисунок 27), параметры которой находятся следующим образом:

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_{\mu} \quad (4.2)$$

$$L_1 = 0.038 + 1.029 = 1.067 \text{ Гн}$$

– ротора

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_{\mu} \quad (4.3)$$

$$L_2 = 0.052 + 1.029 = 1.081 \text{ Гн}$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} \quad (4.4)$$

$$\sigma = 1 - \frac{1.029^2}{1.067 \cdot 1.081} = 0,082$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} \quad (4.5)$$

$$R_{\Sigma} = 4.011 + 3.949 \cdot \frac{1.029^2}{1.081^2} = 7.589 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_{\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\sigma}} \quad (4.6)$$

$$T_{\sigma} = \frac{0,082 \cdot 1,067}{7,589} = 0,012 \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} \quad (4.7)$$

$$T_2 = \frac{1,081}{3,949} = 0,274 \text{ с}$$

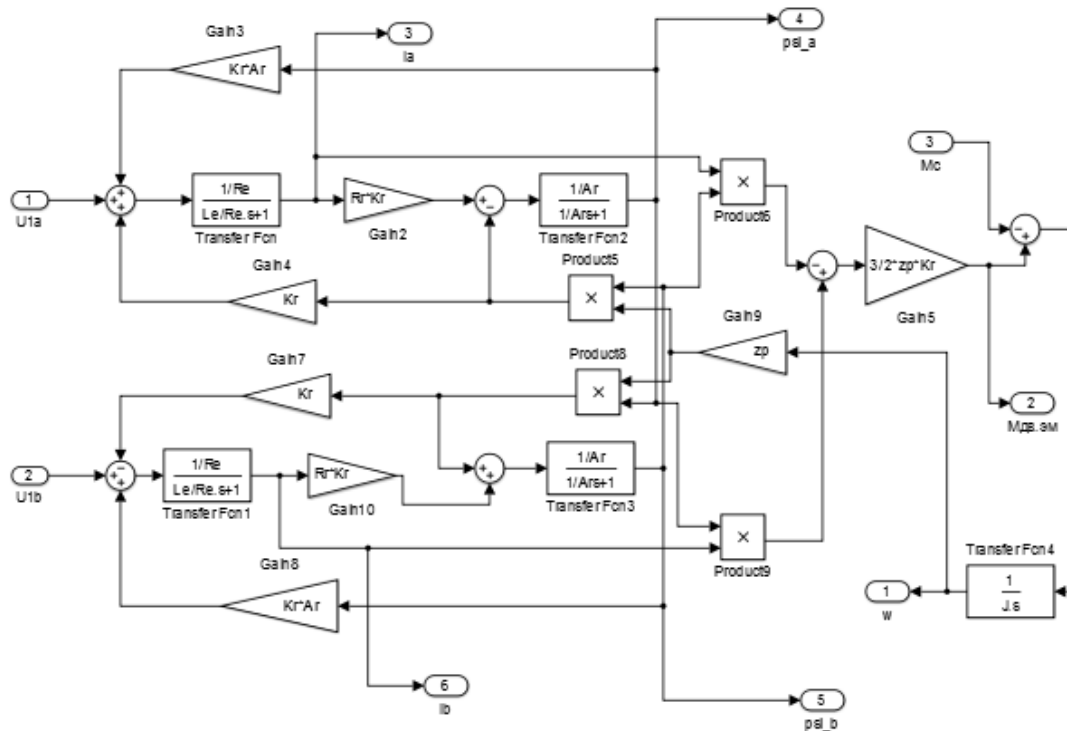


Рисунок 27 – Имитационная модель двухфазного АД в неподвижной системе координат

На вход двигателя подаются фазные напряжения статорных обмоток. Выводы которых обозначены как $U1a$ и $U1b$. К выводам идут соответствующие сигналы, которые задаются формирователем фазных

напряжений с номинальными параметрами, его модель приведена на рисунке 28.

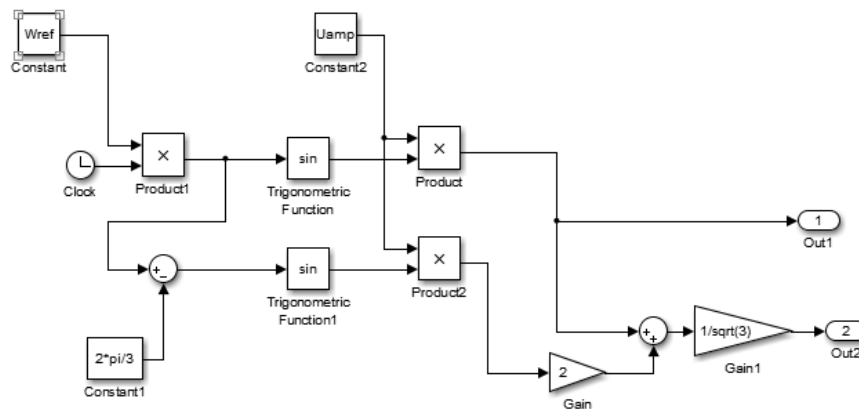


Рисунок 28 – Имитационная модель формирователя фазных напряжений при номинальных параметрах питающей сети

С помощью m-файла обозначим необходимые параметры (рисунок 29) для работы приведенной имитационной модели.

```

1  %Параметры силового канала электропривода
2  f=50;
3  Rs=4.011;
4  Rr=3.949;
5  Ls=0.038;
6  Lr=0.052;
7  Lm=1.029;
8  p=2;
9  J=0.071;
10 Ls=Ls+Lm;
11 Lr=Lr+Lm;
12 zp=p/2;
13
14 Kr=Lm/Lr;
15 Re=Rs+Rr*Kr^2;
16 Le=Ls-Lm^2/Lr;
17 Uamp=3807;
18 Ar=Rr/Lr;
19 Wref=2*pi*f;
20 %
21 knf=50;
22 T=0.000125;
23 Ti1=0.5;
24 Ti2=1.5;
25 k=0.0167;

```

Рисунок 29 – Параметры m-файла имитационной модели

Для проверки работы модели произведем пуск двигателя при номинальных параметрах питающей сети и выполним наброс нагрузки. Результаты моделирования приведены на рисунке 30.

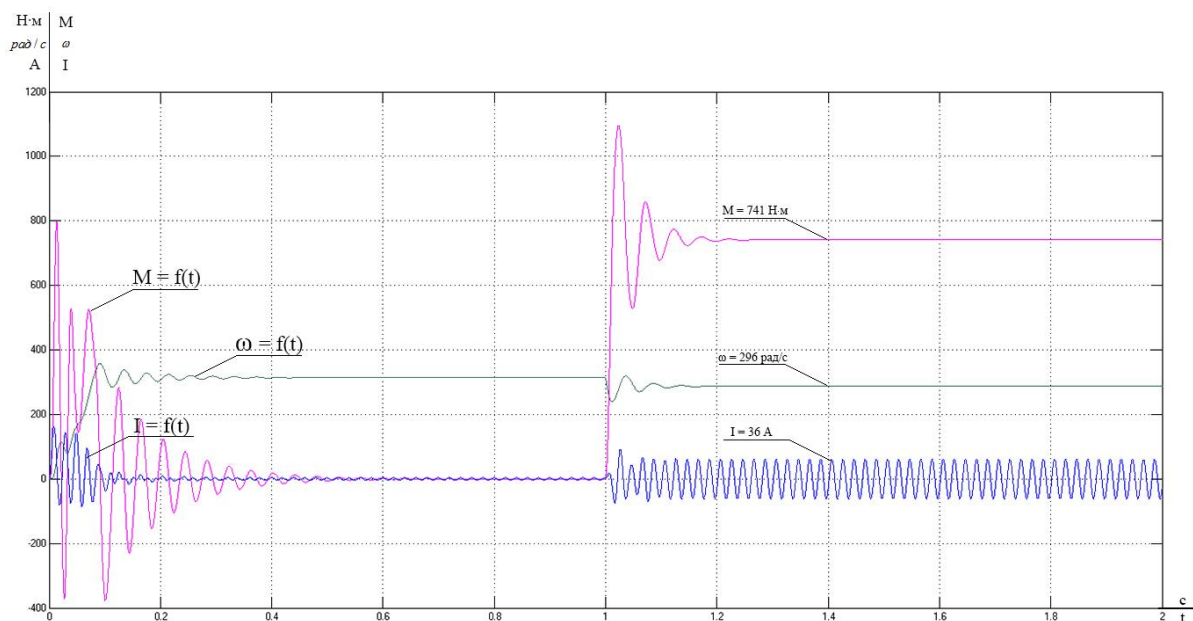


Рисунок 30 – Переходных характеристик $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ при прямом пуске под нагрузкой

В результате полученных переходных характеристик можно сделать вывод о том, что имитационная модель работает адекватно – номинальные параметры электродвигателя совпадают с полученными параметрами при расчете естественных характеристик путем математического расчета (глава 3).

Для имитации работы преобразователя частоты внесем возможность регулирования параметров по вольт-частотной характеристике. Подсистема блока формирования фазных напряжений указана на рисунке 31.

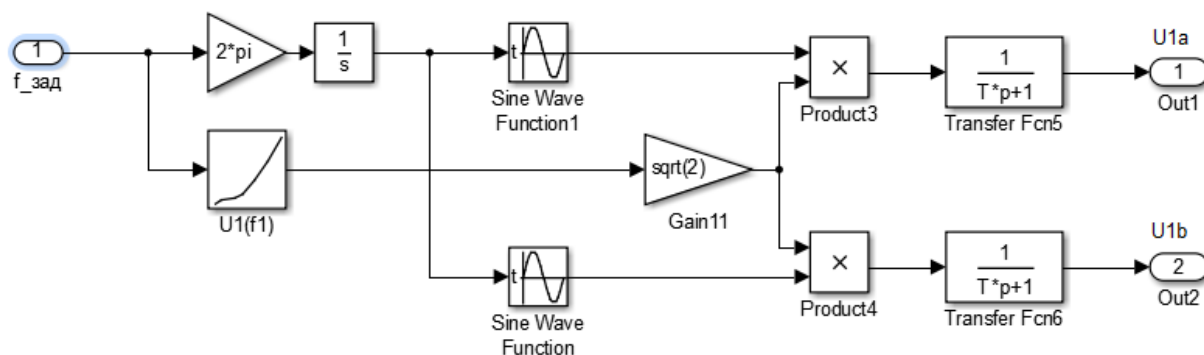


Рисунок 31 – Имитационная модель формирователя фазных напряжений

На вход формирователя фазных напряжений подается сигнал с задатчика интенсивности, который реализуется с помощью блок LookupTable. Настройка данного блока осуществляется исходя из значений, полученных при расчете вольт-частотной характеристики.

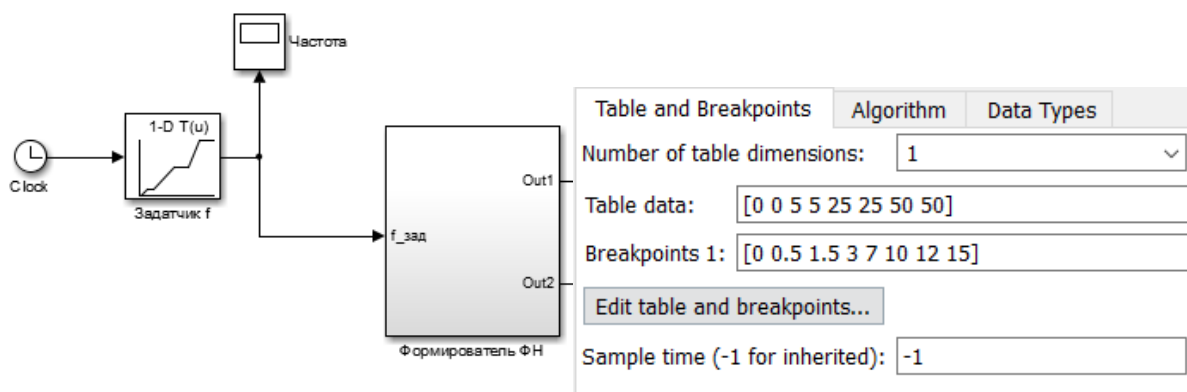


Рисунок 32 – Задатчик интенсивности с параметрами настроек

По принципу блока задатчика интенсивности, с помощью блока LookupTable реализуется нагрузка электропривода (рисунок 29). Параметры нагрузки берутся из рассчитанной механической характеристик полной нагрузки на валу двигателя (глава 3.2).

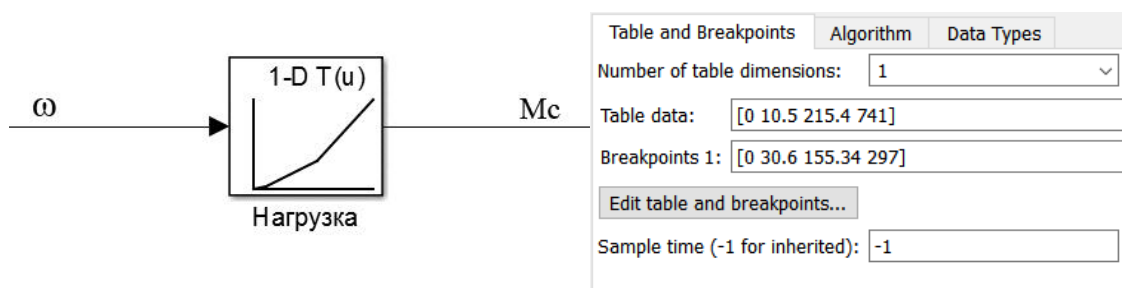


Рисунок 33 – Блок нагрузки с параметрами настроек

На рисунке 34 представлены переходные процессы $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ при определенном цикле работы погружного агрегата. Пуск двигателя осуществляется при частоте 5 Гц (I), далее идет разгон при частоте 25 Гц (II), после этого осуществляется выход на номинальную частоту 50 Гц (III). После номинальной работы УЭЦН, осуществляется переход на минимальную частоту (IV) и полная остановка агрегата (V).

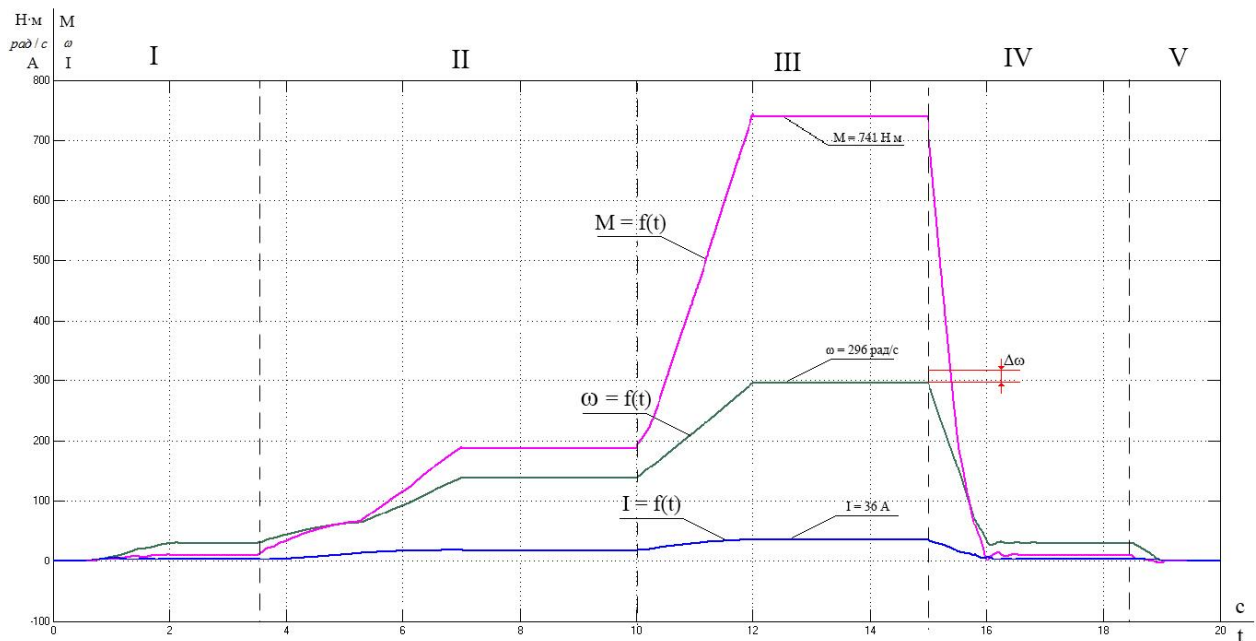


Рисунок 34 – Переходные процессы $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ при заданном цикле работы

Полученные графики переходных процессов свидетельствуют об адекватной работе имитационной модели, данные, характеризующие параметры работы электропривода, соответствуют с полученными данными которые были получены в ходе расчета искусственных характеристик.

4.2 Настройка модуля компенсации скольжения

Для того чтобы погрешность скорости на характеристике не превышала требуемого значения применим компенсацию скольжения. Компенсация скольжения осуществляется за счет регулирования частоты в канале формирования фазных напряжений.

Для настройки модуля компенсации скольжения находим значение передаточной функции:

$$W(p)_{is} = \frac{\Delta f_1}{\Delta(I_1 - I_0)} = \frac{k_{is}}{T_{is} \cdot p + 1}, \quad (4.8)$$

где k_{is} – коэффициент передачи цепи обратной связи по току, значение которого выбирается из условия:

$$\frac{f_{1H} \cdot s_H}{I_{1H} - I_0} \geq k_{is} \leq \frac{f_{1H} \cdot s_H}{I_{1H}} \quad (4.9)$$

$$0.319 \geq k_{is} \leq 0.239$$

где T_{is} – постоянная времени цепи обратной связи, которое находится из:

$$T_{is} \geq 4 \cdot T_{\vartheta} \quad (4.10)$$

Где T_{ϑ} – эквивалентная электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора АД

$$T_{\vartheta} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H} \cdot s_{\kappa}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.138} = 0.023 \text{ с}$$

$$W(p)_{is} = \frac{k_{is}}{T_{is} \cdot p + 1} = \frac{0.074}{0.092 \cdot p + 1}$$

На вход блока с передаточной функцией (рисунок 35) подается сигнал с действующим значением тока статора I_d , сигнал с выхода поступает в блок формирования фазных напряжений где суммируется с сигналом задатчика интенсивности. В результате этого происходит коррекция частоты питающей сети, и скорость вращения вала двигателя возрастет и будет соответствовать синхронной скорости.



Рисунок 35 – Реализация контура компенсации скольжения

На рисунке 36 показано как изменяется частота после применения контура компенсации скольжения.

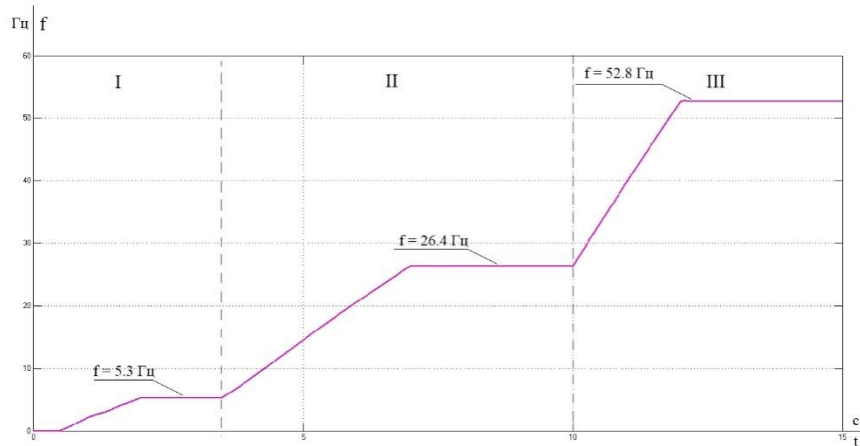


Рисунок 36 – График изменения частоты после применения компенсации скольжения

На рисунке 37 представлены переходные характеристики $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ с применением контура компенсации скольжения.

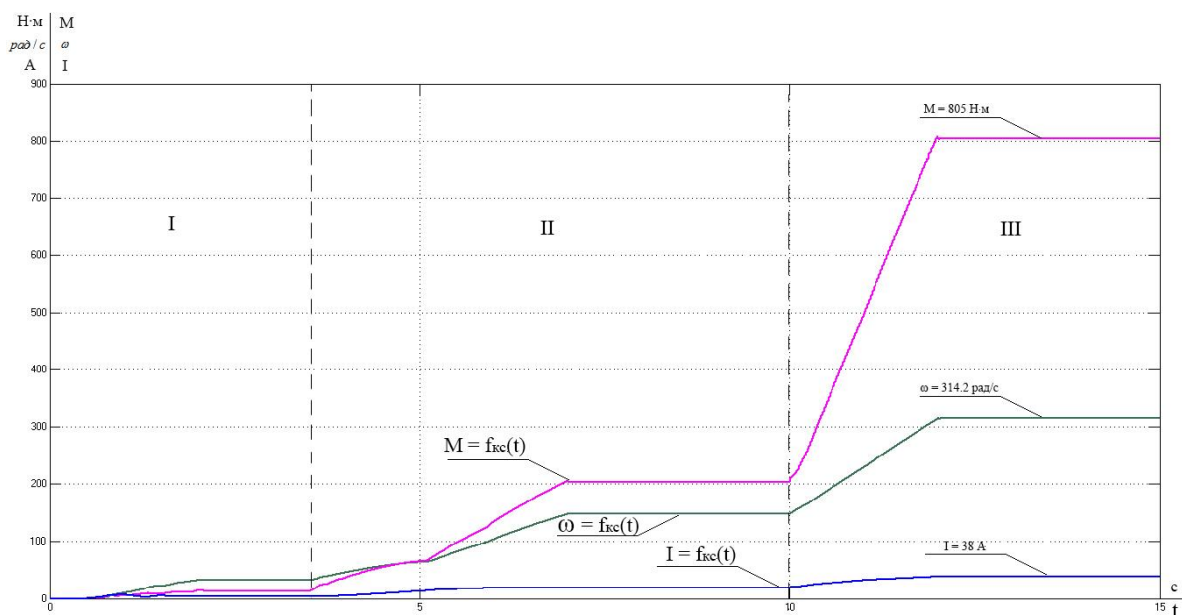


Рисунок 37 – Переходные процессы $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ с применением контура компенсации скольжения

В результате применения компенсации скольжения, удалось устранить погрешность регулирования скорости вращения вала двигателя при номинальной нагрузке. Зона I соответствует пуску электродвигателя при скорректированной частоте $f=5,3 \text{ Гц}$, зона II – разгон двигателя при частоте $f=26,4 \text{ Гц}$, выход на номинальную частоту $f=52,8 \text{ Гц}$ – зона III. Помимо увеличения скорости вращения электродвигателя, удалось увеличить

перегрузочную способность электропривода. В момент наброса номинальной нагрузки броска тока не наблюдается и его значение составляет $I=38$ А.

4.3 Настройка модуля IR-компенсации

При работе двигателя на частотах меньше номинальной питающей частоты, производимый двигателем момент уменьшается. Для того чтобы повысить критический момент и обеспечить нормальную работу двигателя применяют IR-компенсацию. Ее суть заключается в компенсации потери напряжения, возникающую в результате падения напряжения на реактивном сопротивлении обмотки статора, которое особенно заметно при работе на малой частоте питающей сети.

Для настройки модуля IR-компенсации необходимо определить

$$W(p)_{is} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = \frac{k_{iR}}{T_{iR} \cdot p + 1}, \quad (4.11)$$

передаточную функцию:

Где значение коэффициента передачи цепи обратной связи

$$k_{iR} \leq (0.75 \div 0.85) \cdot R_1$$

$$k_{iR} = 3.41$$

где T_{iR} – постоянная времени цепи обратной связи, которое находится из:

$$T_{iR} \geq 4 \cdot T_g \quad (4.12)$$

Где T_g – эквивалентная электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора АД

$$T_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н} \cdot s_{\kappa}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.138} = 0.023 \text{ с}$$

$$W(p)_{iR} = \frac{k_{iR}}{T_{iR} \cdot p + 1} = \frac{3.41}{0.092 \cdot p + 1}$$

На рисунке 34 изображена реализация контура IR-компенсации. На вход блока с передаточной функцией подается сигнал с действующим

значением тока статора I_d , сигнал с выхода поступает в блок формирования фазных напряжений где суммируется с сигналом напряжения заданным преобразователем частоты. В результате этого происходит коррекция величины напряжения. Блок Saturation задает ограничение по увеличению напряжения до 15% от номинального значения.

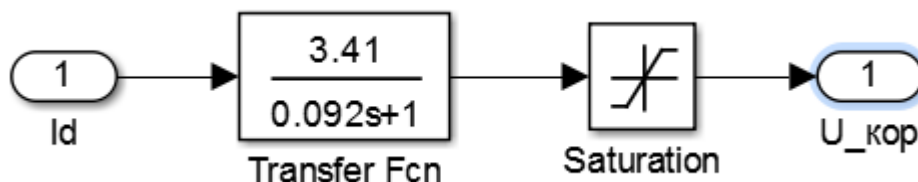


Рисунок 38 – Модуль IR-компенсации

На рисунке 39 представлены переходные характеристики $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ с применением IR-компенсации.

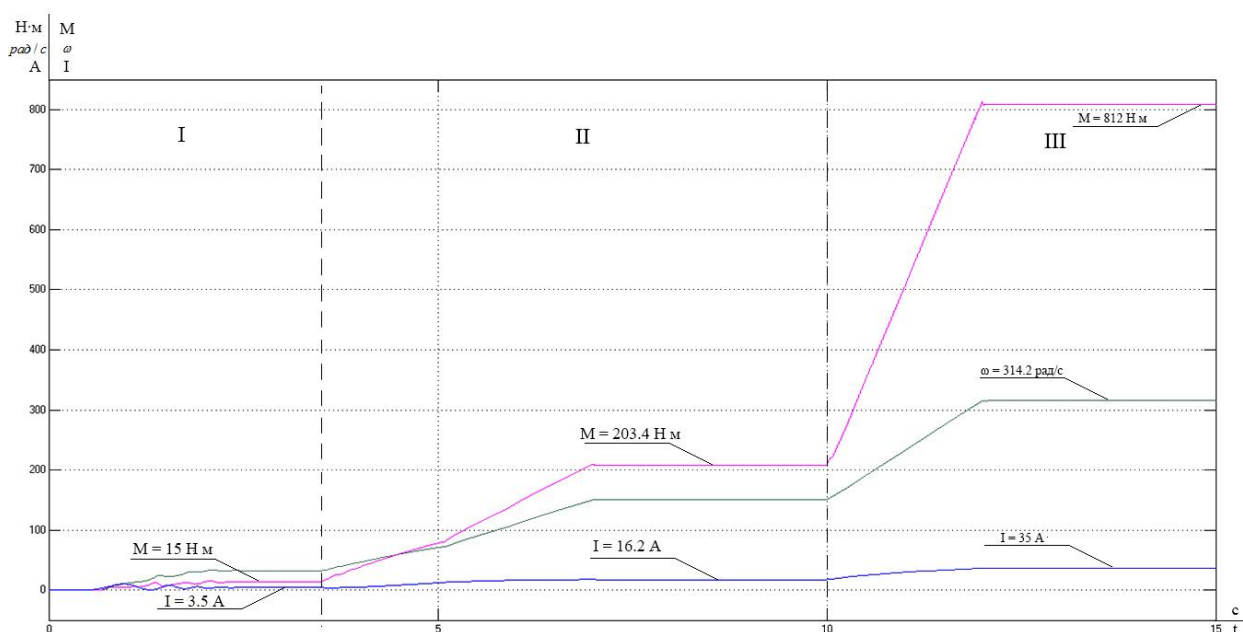


Рисунок 39 – Переходные характеристики $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ с применением IR-компенсации

Благодаря применению IR-компенсации удалось повысить надежность работы электропривода, особенно, при минимальной частоте $f=5$ Гц. В результате этого, увеличение номинального момента электродвигателя составило порядка 10% от значения полученного без применения компенсации. Компенсация проходит до определенного момента

– значение действующего напряжения не превышает 15% от номинального напряжения, благодаря этому ограничению магнитная система электродвигателя работает без перенасыщения.

4.4 Ограничение тока электродвигателя

Для ограничения тока при больших нагрузках в двигателях предусматривается применение контура ограничения тока.

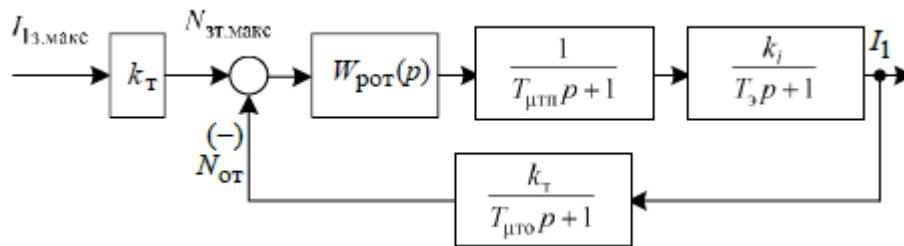


Рисунок 40 – Структурная схема контура ограничения тока

Передаточная функция ПИ-регулятора ограничения тока [7]:

$$W(p) = k_{PT} \cdot \frac{T_{PT} \cdot p + 1}{T_{PT} \cdot p} \quad (4.13)$$

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{PT} = T_{1\Omega} = 0,0221 \text{ с}$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{PT} = \frac{T_{1\Omega} \cdot R_{1\Omega}}{k_H \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\mu T\Omega}} \quad (4.14)$$

$$k_{PT} = \frac{0,023 \cdot 7,58}{7,124 \cdot 0,7071 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}$$

где k_H – коэффициент передачи по каналу частоты:

$$k_H = \frac{U_{1H}}{f_{1H} \cdot R_{1\Omega}} = \frac{2700}{50 \cdot 7,58} = 7,124 \text{ А / Гц};$$

k_T – коэффициента обратной связи по току:

$$k_H = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7071 \text{ 1 / А};$$

$a_T = 2$ – коэффициент типовой настройки контура тока на модульный оптимум (МО);

$T_{\mu TЭ}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока:

$$T_{\mu TЭ} = \frac{T_{OC.T}}{n_T} + T_{3V.II} = \frac{0,0002}{2} + 0,0002 = 0,0003 \text{ с};$$

где $T_{OC.T} = T_{ШИМ} = 0,0002 \text{ с}$ – интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока;

$n_T = 2$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном (при настройке контура тока на МО);

$T_{3V.II} = T_{ШИМ} = 0,0002 \text{ с}$ – интервал времени задержки подачи управления регулятора тока к ключам инвертора.

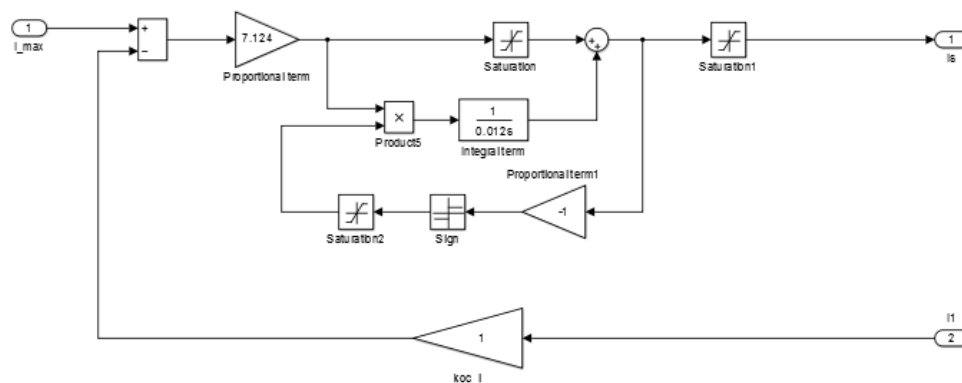


Рисунок 41 – Имитационная модель регулятора ограничения тока

На рисунке 42 представлены графики переходных процессов $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ с применением контура ограничения тока и момента. Имитационная модель электропривода, построенная в среде MatlabSimulink предоставлена в полном объеме в Приложении 1.

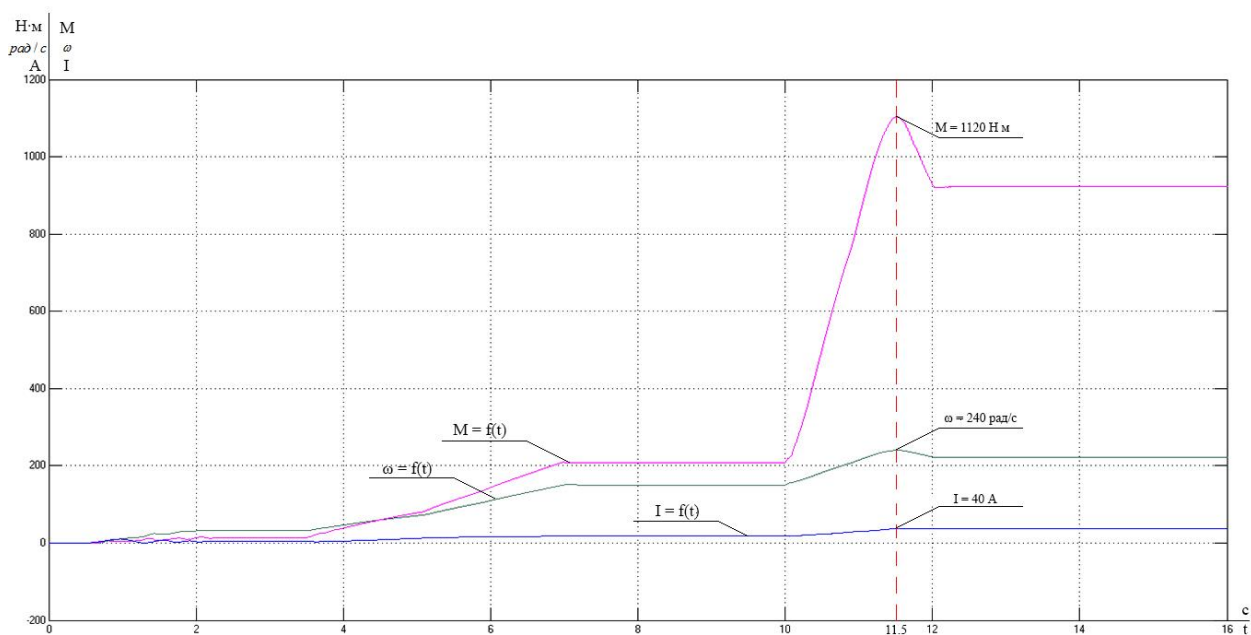


Рисунок 42 – Переходные характеристики $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ с применением контура ограничения тока

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что контур ограничения тока работает адекватно. В момент, когда возникает перегрузка (11,5 с), система, воздействуя на канал формирования напряжений, снижает момент на валу и скорость вращения электродвигателя. Дальнейшая работа двигателя осуществляется при поддержании заданного допустимого значения тока.

4.5 Сравнение энергетических показателей частотно-регулируемого электропривода

Сравним энергоэффективность регулируемого электропривода, выполненного по системе ПЧ–АД с электроприводом, пуск которого осуществляется напрямую, подачей напряжения на обмотку статора.

В исследуемой технологии для регулирования подачи насоса используют метод дросселирования, минуя использование устройств регулирования скорости вращения двигателя. С помощью дроссельной задвижки осуществляется регулирование насосной характеристики (рисунок 43). Данный метод эффективен с точки зрения простоты исполнения, но крайне неэффективен с точки зрения энергосбережения [14]. На рисунке 43

представлены зависимости подачи насоса при регулировании с использованием дроссельной задвижки и изменением частоты вращения.

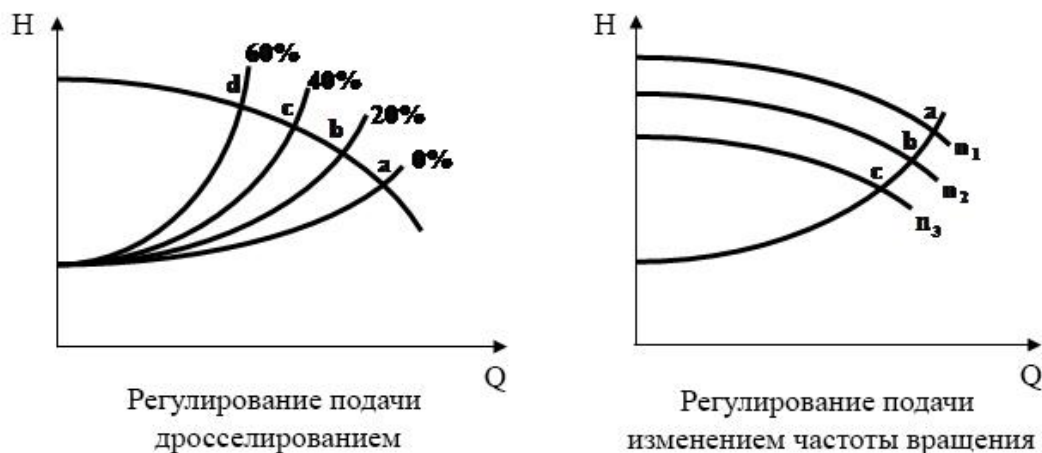


Рисунок 43 – Зависимости подачи насоса при регулировании

Работа насосного агрегата при дросселировании осуществляется при том же количестве потребляемой мощности, что и в номинальном режиме работы. В то время как, способ регулирования подачи с помощью применения преобразователя частоты с последующим изменением частоты вращения, позволяет потреблять значительно меньше электроэнергии и КПД установки гораздо выше чем при регулировании с помощью задвижки.

Предположим, что нам необходимо снизить подачу насоса на 20%. В случае применения дроссельной задвижки двигатель будет работать в номинальном режиме при номинальных параметрах сети. Рассчитаем количество потребляемой двигателем полной мощности по выражению [14]:

$$S = 3 \cdot U \cdot I \quad (4.15)$$

где U – значение фазного напряжения;

I – потребляемый ток.

Полная мощность, потребляемая электродвигателем при регулировании дросселированием при прямом способе пуска будет равна:

$$S_0 = 3 \cdot 2178 \cdot 38 = 235 \text{ кВА}$$

При 80% от номинальной подачи, двигателю необходимо развивать скорость вращения равную $\omega = 249 \text{ рад/с}$, исходя из рассчитанных

искусственных характеристик (глава 3.3), такой скорости будет удовлетворять работа двигателя при частоте равной $f = 40$ Гц. Потребляемая электродвигателем полная мощность, с применением преобразователя частоты для регулирования подачи насосного агрегата, будет составлять:

$$S_{nc-\partial} = 3 \cdot 1450 \cdot 30.65 = 133 \text{ кВА}$$

На рисунках 44,45 представлены переходные процессы при регулировании дросселированием и, соответственно, регулировании с применением преобразователя частоты.

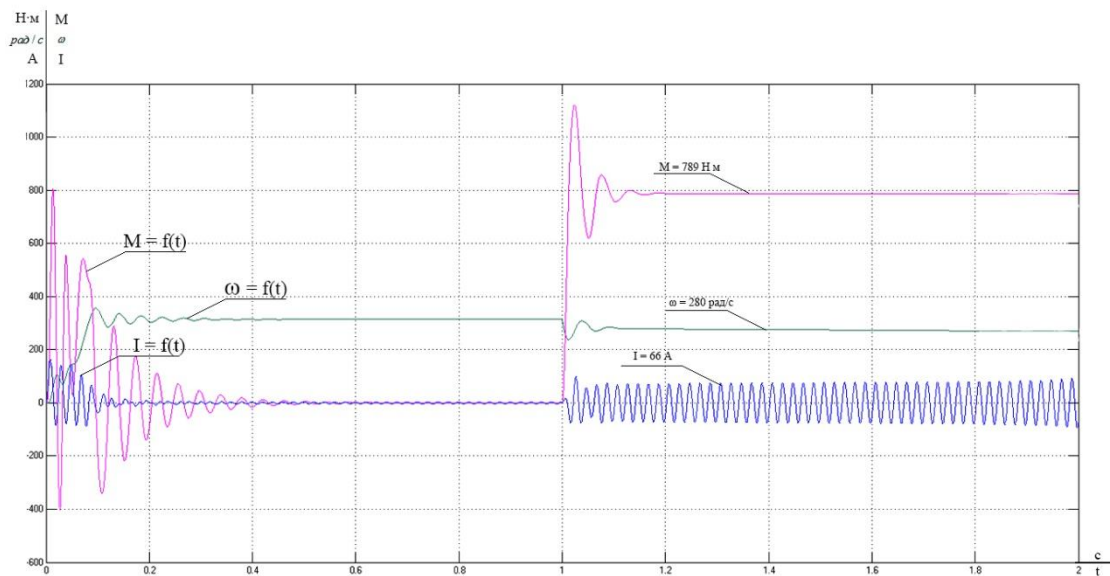


Рисунок 44 – Переходные процессы $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ при регулировании подачи дросселированием

На рисунке 45 представлены переходные характеристики электропривода насосного агрегата. Работе насоса, при ограниченной подаче равной 80% от номинальной, соответствует зона (IV).

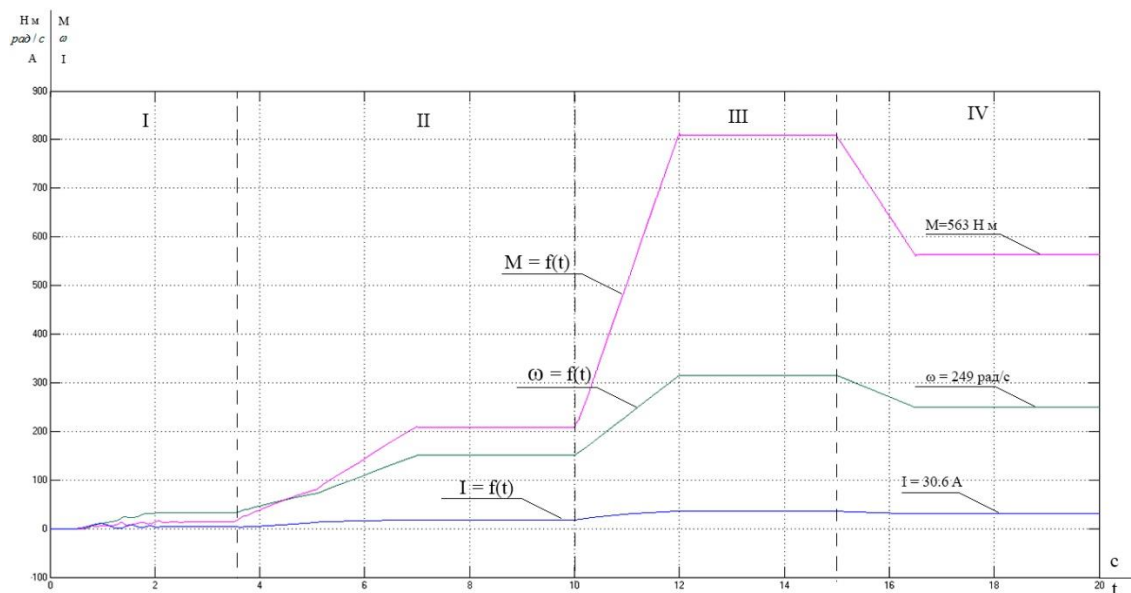


Рисунок 45 – Переходные процессы $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ при регулировании подачи преобразователем частоты

Электродвигатель обеспечивает требуемую производительность насоса при частоте 40 Гц с высокой эффективностью по сравнению с прямым пуском двигателя и регулированием подачи с помощью дросселирования задвижки (рисунок 44). Потребляемая мощность частотно-регулируемого электропривода в данном случае ниже на 40% чем при прямом пуске. Помимо этого, регулирование с применением ЧРП позволяет избежать дополнительных перегрузок электродвигателя.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Гусакову Дмитрию Евгеньевичу

Инженерная школа	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Отделение	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых и человеческих ресурсов.	Стоимость материальных ресурсов определить по средней стоимости по г. Томску.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	В соответствии с Налоговым кодексом РФ Отчисления во внебюджетные фонды 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование комплекса работ (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности работы)	Расчет временных показателей проведение исследования ТП. Составление календарного плана-графика
2. Определение трудоемкости выполнения работ	
3. Расчет бюджета для научно-технического исследования	Определение материальных затрат, подсчет заработной платы исполнителей.
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	

исследования	
--------------	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А..	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Гусаков Дмитрий Евгеньевич		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

1. Составление SWOT-анализа автоматизированной системы
2. Планирование научно-исследовательских работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

SWOT-анализ

SWOT - Strengths (сильные стороны), Weakness (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону проекта

1. Энергоэффективность;
2. Текущая доля на рынке;
3. Технический уровень производства;
4. Более низкая стоимость ЭЭ по сравнению с другими технологиями;
5. Хорошая инфраструктура.

Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

1. Потери ЭЭ в электрических сетях составляют 14 %;
2. Занимают большие территории;
3. Большие затраты на доставку сырья.

Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая энергоэффективность и экономичность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Повышение надежности технологии</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Сложность ремонта некоторых частей оборудования</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p>
--	---	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительной автоматизированной системы управления</p> <p>В2. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1С3С4;</p> <p>В3С3С4;</p> <p>В4С1С2С3С4;</p>	<p>В1Сл2;</p> <p>В2Сл1Сл2;</p> <p>В3Сл2;</p> <p>В4Сл2;</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологию</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Угрозы выхода из строя оборудования</p>	<p>У1С1С3;</p> <p>У2С4;</p> <p>У3С4;</p> <p>У4С3</p>	<p>У1Сл2;</p> <p>У2Сл1Сл2;</p> <p>У3Сл2;</p> <p>У4Сл1Сл2Сл3;</p>

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие;

Таблица 2 – Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	
	B1	+	+	+	+	
	B2	+	-	+	+	
	B3	-	+	+	+	
	B4	+	+	+	+	
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	+	-		
	B2	+	+	-		
	B3	-	+	-		
	B4	-	+	-		

Таблица 3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	
	Y1	+	-	+	-	
	Y2	-	-	-	+	
	Y3	-	-	-	+	
	Y4	-	-	+	-	
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	Y1	-	+	-	-	
	Y2	+	+	-	-	
	Y3	-	+	-	-	
	Y4	+	+	+	-	

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как внедрение продукта на мировой уровень, в различные технологические процессы, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и надежности. Так же установлен недостаток - отсутствие спроса на технологии производства, который может повлиять на дальнейшее использование продукта.

Подробная оценка конкурентоспособности разработки будет представлена в разделе Анализ конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта.

5.1 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составляется перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования автоматизированной системы дозирования и смешивания комбикорма, провести распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и студент по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.

Таблица 5 –Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка	1	Составление и утверждение	Научный

технического задания		технического задания	руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Научный руководитель
	3	Выбор направления оптимизационной задачи	студент
	4	Календарное планирование работ	руководитель
Теоретические исследования	5	Выбор элементов автоматизированной системы	студент
	6	Расчет параметров схемы замещения АД	студент
	7	Выбор структуры и расчет параметров регуляторов автоматизированной системы	студент
	8	Имитационное моделирование автоматизированной системы	Студент и руководитель
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Студент и научным руководителем
Разработка технической документации	10	Оценка надежности полученных результатов	Научный руководитель
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Научный руководитель
Оформление отчета	12	Составление пояснительной записки	студент
	13	Проверка работы	руководитель

5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения

ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad 1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; t_{ож2} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож3} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн}; t_{ож4} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \text{ чел.} - \text{дн}; t_{ож6} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож7} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; t_{ож8} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 20}{5} = 17 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож9} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн}; t_{ож10} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож11} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{5} = 3,4 \text{ чел.} - \text{дн}; t_{ож12} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8 \text{ чел.} - \text{дн};$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{\mathbf{\mathcal{C}}_i} \quad 2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

При проектировании и разработки моделей все действия выполняются последовательно, соответственно продолжительность каждой работы будет равна $T_{pi} = t_{oji}$.

5.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Определим коэффициент календарности на 2018 год:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 126} = 1,527.$$

Тогда длительность четвертой работы в календарных днях:

$$T_{к4} = T_{р4} \cdot k_{кал} = 1,4 \cdot 1,527 = 2,138 \approx 2 \text{ дн.}$$

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 6.

Таблица 6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ (чел-дни)			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		
Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	3	5	3,8	3,8	6
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	5	8	6,2	6,2	10
Выбор направления оптимизационной задачи	2	3	2,4	2,4	4
Календарное планирование работ	1	2	1,4	1,4	2
Разработка вариантов проектирования	6	8	6,8	6,8	10
Выбор программного обеспечения для расчетов	2	3	2,4	2,4	4
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	3	5	3,8	3,8	6
Расчет основных и аварийных принципов функционирования	15	20	17	17	26
Оценка эффективности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Оценка надежности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	4	3,4	3,4	5
Составление пояснительной записки по проекту	5	7	5,8	5,8	9
Итого	55	81	65,4	65,4	102

Таблица 7 – Календарный план-график проведения исследований

№	Вид работы	Исполнители	Ткi (кал. дн.)	Продолжительность выполнения работ									
				Февраль		Март			Апрель			Май	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	Руководитель	6										
2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Руководитель	10										
3	Выбор направления оптимизационной задачи	студент	4										
4	Календарное планирование работ	Руководитель	2										
5	Разработка вариантов проектирования	студент	10										
6	Выбор программного обеспечения для расчетов	студент	4										
7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	студент	6										
8	Расчет основных и аварийных принципов функционирования	студент	26										
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	10										
10	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель	10										
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	студент	5										
12	Составление пояснительной записки по проекту	студент	9										

При планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей (научного руководителя, дипломника), составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет более качественно оценить и спланировать время работы исполнителей проекта.

Согласно составленному календарному плану с учетом вероятностного характера выполнения работ (благоприятный, неблагоприятный) продолжительность проектирования составляет 10 полных декад, начиная со первой декады февраля, заканчивая третьей декадой мая.

Далее, по диаграмме Гантта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 102 дня, из которых 64 дней – продолжительность выполнения работ инженером, а 38 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.4.1 Затраты на специальное программное среду для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального ПО, необходимого для проведения работ по конкретной теме. В таблице 7. представлен расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ

Таблица 7.1 – Расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
1	Программное электронное устройство (компьютер)	1	18000рубл	18000рубл
2	Лицензия программы «Matlab»	1	21000рубл	21000рубл
ИТОГО				39000рубл

*- при курсе доллара 61,81руб.,

евро 75,45руб.

5.4.2 Полная заработная плата исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата инженера главного специалиста определяется как:

$$З_{II} = З_{осн} + З_{доп};$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, составляет $0,15 \cdot З_{осн}$;

$З_{осн}$ – основная заработная плата.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p;$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата; T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_M \cdot M}{F_D};$$

где $З_M$ – месячный оклад научно-технического работника;

M – количество месяцев работы без отпуска ($M = 10$ для пятидневной рабочей недели и отпуске в 48 календарных дней);

F_D – действительный годовой фонд научно технического персонала (определяется за вычетом выходных, праздничных и больничных дней).

Месячный оклад научно-технического работника определяется по формуле:

$$З_M = З_{TC} \cdot (1 + k_{np}) \cdot k_p;$$

где $З_{TC}$ – заработная плата по тарифной ставке;

k_{np} – премиальный коэффициент, 0,15;

k_p – районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,3.

Размер заработной платы по тарифной ставке определяется по формуле:

$$З_{TC} = T_{ci} \cdot k_T;$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника; k_T – тарифный коэффициент в зависимости от ставки.

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату руководителя НТИ:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T = 26300 \cdot 1,407 = 37004 \text{ руб};$$

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 37004 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 62536,76 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{62536,76 \cdot 10}{365 - 126} = 2616,6 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2616,6 \cdot \frac{30}{8} = 9812,25 \text{ руб};$$

$$Z_{\Pi} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} + 0,15 \cdot Z_{\text{осн}} = 9812,25 + 0,15 \cdot 9812,25 = 11284,08 \text{ руб}.$$

По аналогии рассчитаем заработную плату студента-дипломника за данную исследовательскую работу:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T = 17000 \cdot 1 = 17000 \text{ руб};$$

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 28730 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{28730 \cdot 10}{365 - 126} = 1202,09 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1202,09 \cdot \frac{576}{8} = 96550,62 \text{ руб};$$

$$Z_{\Pi} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} + 0,15 \cdot Z_{\text{осн}} = 96550,62 + 0,15 \cdot 96550,62 = 111033,213 \text{ руб}.$$

5.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст.58 Федерального закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году вводится пониженная ставка – 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб1} = 0,302 \cdot (9812,25) = 2963,299 \text{ руб.}$$

$$З_{внеб2} = 0,302 \cdot (96550,62) = 29158,287 \text{ руб.}$$

5.4.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} З_{накл} &= З_{проч.} \cdot k_{нр} = (З_{спец} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ &= (39000 + 106362,87 + 15954,4 + 32121,586) \cdot 0,16 = 30950,2 \text{ руб} \end{aligned}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

5.4.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании

договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта.

Определение суммы затрат на технический проект приведено в таблице 8.

Таблица 8 - Смета затрат технического проекта

<i>Наименование статьи</i>	<i>Сумма, тыс. руб.</i>	<i>Доля, %</i>
1. Материальные затраты	39	17,38
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	122,317	54,52
3. Отчисления во внебюджетные фонды	32,121	14,32
4. Накладные расходы	30,9	13,77
<i>Итого</i>	224,338	100,0

Составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 224,338 тыс.руб, из которых более половины (54,52 %) составляют затраты на оплату труда исполнителей проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект или нет.

6. Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики проекта;
- конкурентоспособность проекта;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа, модели и т.п.);
- бюджет разработки и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научного проекта и определить направления для его будущего повышения и реализации.

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, безопасность, обеспечение надлежащего качества и надежности прибора, сфера применения и удобство использования.

1. Экономичность - оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Под обеспечением надлежащего качества и надежности прибора понимается поставка потребителю нового, неизношенного прибора с допустимыми показателями его качества и исключения ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

3. Безопасность - это свойство прибора сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Конкурентоспособность
1. Качество и надежность исполнение	0,25	5	1,25
2. Сфера применения и удобство использования	0,25	5	1,25
3. Безопасность	0,3	5	1,5
4. Экономичность	0,2	4	0,8
Итого:	1,00		4,8

Позиция оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Значения показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1. Анализ конкурентоспособности проекта определяется согласно выражению:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Тогда

$$K_{k\Sigma} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,8$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы качества, надежности и безопасности позволяют судить о надежности системы.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность прибора.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Гусаков Дмитрий Евгеньевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Подразделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является математическая модель отказоустойчивого управления асинхронным электроприводом, построение имитационной модели асинхронного электропривода для исследования аварийных и неполнофазных режимов работы, разработка алгоритмов отказоустойчивого управления для электропривода. Подобные исследования могут найти применение в особенности для промышленного оборудования опасных производственных объектов: ядерных, военных, химических, строительных, металлургических и транспортных, где возникает проблема организации отказоустойчивого управления исполнительными электроприводами с обеспечением свойства живучести.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	Воздействие на работника физических факторов, таких как, производственные метеоусловия; недостаточная освещенность; запыленность; повышенный уровень шума; неравномерность распределения яркости в поле зрения; повышенная яркость светового изображения. Электроопасность.

<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электроопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); <p>1. пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	Утилизация компьютерной техники. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ, внешних устройств ЭВМ. Этапы утилизации компьютерной техники.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><u>Возможные ЧС:</u></p> <p>Возможны возгорания в следствии короткого замыкания из-за ошибки оператора и нарушения целостности электрических проводов. Наиболее типичным ЧС будет пожар в помещении. Предупреждающие мероприятия являются наличие плана эвакуации на месте работы оператора, знание и соблюдение мер пожарной безопасности работниками, установка заземлителей.</p>
<p>4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Были рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Гусаков Дмитрий Евгеньевич		

7. Социальная ответственность

В данной магистерской диссертации разрабатывается математическая модель регулируемого электропривода насосного агрегата для откачки попутного нефтяного газа.

Процесс работы заключается в анализе методов и принципов моделирования погружного электродвигателя, преобразователя частоты, механической системы электропривода, предельных характеристик, произведен выбор электрического оборудования, соответствующий условиям технического задания. Результатом работы будет представление модели объекта исследования, анализ графиков на адекватную работоспособность, составление рекомендаций касательно работы.

Технологический процесс разработки и проверки системы управления погружного электродвигателя заключается в следующем:

- Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике. На основании этого пункта создается и строится математическая модель асинхронного двигателя (АД) в наиболее применимой форме для дальнейших исследований.

- создание метода разработки системы управления для АД;
- компьютерное моделирование системы управления;
- анализ полученных результатов моделирования;
- анализ полученных результатов проверки.

В описанном технологическом процессе основным оборудованием является:

- пользовательский компьютер;
- монитор.

Оборудование находится в закрытом помещении (кабинет, аудитория), имеющим один выход и 2 окна, работа выполняется на

персональном компьютере, с помощью которого обрабатывается вся информация.

В данном разделе магистерской диссертации рассматриваются следующие вопросы:

- организация рабочего места пользователя ПК;
- определение оптимальных условий труда пользователя ПК.

7.1 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [1] в помещении лаборатории на разработчика могут негативно действовать следующие опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ):

Опасные производственные факторы (ОПФ):

- опасность поражения электрическим током;

Вредные производственные факторы (ВПФ):

- повышенная и пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная интенсивность теплового излучения рабочей зоны;
- повышенная и пониженная влажность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенная яркость света;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенный уровень шума;
- запыленность.

Далее более подробно рассмотрены опасные и вредные факторы, воздействующие на разработчика, возникшие в связи с разработкой данной системы.

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

Производственные метеоусловия

В настоящее время компьютерная техника широко применяется во всех областях деятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов. В соответствии с нормативно-технической документации при нормировании параметров микроклимата выделяют: теплый период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$, холодный период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха равной $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже. Среднесуточная температура наружного воздуха — средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени. Она принимается по данным метеорологической службы. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт). [2]

Микроклимат — климат внутренней среды помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей. Для обеспечения оптимальных условий труда объём производственного помещения на одного работающего согласно санитарным нормам должен быть не менее 20 м^3 , площадь помещения, огороженного стенами, не менее 6

м² [5]. Оптимальные параметры микроклимата помещений с ПК приведены в таблице 1, допустимые параметры в таблице 2.

Таблица 1 – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая, 1а	20 - 24	40 – 60	0,1
Тёплый	Лёгкая, 1а	20 - 24	40 - 60	0,1

Таблица 2 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая, 1а	19 - 26	15 - 75	0,1
Тёплый	Лёгкая, 1а	20 - 29	15 - 75	0,1

Так же немаловажным фактором является интенсивность теплового облучения, допустимые нормы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
50 и более	35
25 - 50	70
Не более 25	100

Требуемое состояние микроклимата рабочей зоны может быть обеспечено при использовании таких технических средств, как:

1. защита от источников тепловых излучений для снижения температуры воздуха в помещении и теплового облучения работающих;
2. устройств вентиляции и отопления [11];
3. увлажнители воздуха с дистиллированной или кипяченой питьевой водой.

Задача вентиляции – обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция достигается удалением загрязнённого или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха.

3.1.1 Целью отопления помещения является поддержание в них в холодное время года заданной температуры воздуха, а также обеспечить безопасность в отношении пожаров и взрывов. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо раздельное управление освещением таких зон. Существует три вида освещения - естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе) [4].

Естественное освещение - освещение помещений дневным светом, проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях помещений. Естественное освещение характеризуется тем, что меняется в широких пределах в зависимости от времени дня, времени года, характера области и ряда других факторов.

Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем, когда не удастся обеспечить нормированные значения коэффициента естественного освещения (пасмурная погода, короткий световой день). Освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным, называется совмещенным освещением.

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное. Рабочее освещение, в свою очередь, может быть

общим или комбинированным. Общее - освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно или применительно к расположению оборудования. Комбинированное - освещение, при котором к общему добавляется местное освещение.

Согласно СНиП II-4-79 в помещениях вычислительных центров необходимо применить систему комбинированного освещения.

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [5].

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно. Кроме того, все поле зрения должно быть освещено достаточно равномерно – это основное гигиеническое требование. Иными словами, степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно одинаковыми, т.к. яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.[2] В таблице 4 приведены характеристики исследуемого помещения.

Таблица 4 – Характеристики помещения

Размеры помещения, м	15x5x3
Кол. x Площадь окна, м ²	2 x 2,8
По количеству пыли	Малое
Характеристика помещения по пожароопасности	Непожароопасное

Помимо этого, нормируются светотехнические параметры дисплея, размеры монитора и символов, цветовые параметры, яркость дисплея, частота обновления кадров, которые влияют на состояние зрения. Низкая освещенность дисплея ухудшает восприятие информации, а слишком высокая приводит к уменьшению контраста изображения знаков, что вызывает усталость глаз, именно из-за нагрузки на зрение через непродолжительное время у пользователя возникает головная боль и головокружение. Если работать на компьютере достаточно долго, то зрительное переутомление может привести к устойчивому снижению остроты зрения. Основными осложнениями при длительной работе на компьютере являются утомление глаз и возникновение головной боли. Существенным фактором, влияющим на утомление глаз, является частота перевода взгляда с дисплея на клавиатуру.

Таблица 5 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

N	Параметры	Допустимые значения
1	Яркость белого поля	Не менее 35 кд/кв.м
2	Неравномерность яркости рабочего поля	Не более +-20%
3	Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1

4	Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться
5	Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренные изменения положения фрагментов изображения на экране)	Не более $2 \times 10(-4L)$, где L - проектное расстояние наблюдения, мм

3.1.2 Запыленность

Пыль - это мелкие и мельчайшие твердые частицы с размером от 0,2 до 100 мкм, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. С другой стороны, пыль - это один из производственных факторов, неблагоприятно влияющих на здоровье человека и вызывающих при длительном воздействии на организм ухудшение здоровья и профессиональные заболевания. Пылевыведение наблюдается практически при всех видах человеческой деятельности. В горнорудной промышленности - при бурении породы, взрывных работах, работах горных машин, транспортировке породы, сортировке, дроблении и т.п.

Гигиеническое нормирование. Основой проведения мероприятий по борьбе с производственной пылью является гигиеническое нормирование. Соблюдение установленных ГОСТом предельно допустимых концентраций (ПДК) — основное требование при проведении предупредительного и текущего санитарного надзора. Для воздуха рабочей зоны производственных помещений в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [6]. Установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ.

Гигиеническое нормирование. Основой проведения мероприятий по борьбе с производственной пылью является гигиеническое нормирование. Соблюдение установленных ГОСТом предельно допустимых концентраций (ПДК) — основное требование при проведении предупредительного и текущего санитарного надзора. Для воздуха рабочей зоны производственных

помещений в соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96.[6] Установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ.

Таблица 6 – ПДК вредных веществ в воздухе

Название веществ	ПДК (мг/м ³)		
	Макси- мальная разовая	Среднесу- точная	В производственных помещениях
Неорганические вещества			
Оксид	3,0	1,0	20
углерода	0,5	0,1	20
Пыль	0,2	0,2	50
нетоксичная	0,2	0,2	20
Хлороводо- род	0,1 0,085	0,03 0,085	5 5
Аммиак			
Хлор			
Оксид азота			

Систематический контроль за состоянием запыленности осуществляют лаборатории центров санэпиднадзора, заводские санитарно-химические лаборатории. На администрацию предприятий возложена ответственность за поддержание условий, препятствующих превышению ПДК пыли в воздушной среде.

Систематический контроль за состоянием запыленности осуществляют лаборатории центров санэпиднадзора, заводские санитарно-химические лаборатории. На администрацию предприятий возложена

ответственность за поддержание условий, препятствующих превышению ПДК пыли в воздушной среде.

Методы и средства защиты от пыли:

- внедрение непрерывных технологий с закрытым циклом (использование закрытых конвейеров, трубопроводов, кожухов);
- применение индивидуальных средств защиты (очков, противогазов, респираторов, спецодежды, обуви, мазей).
- применение пылеуловителей

3.1.3Повышенный уровень шума

В помещениях с низким уровнем общего шума, каким является лаборатория, где работает разработчика, источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры или периферийное оборудование для ЭВМ (плоттеры, принтеры и др). Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» [7] эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА. Для того, чтобы добиться этого уровня шума рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом (снижает шум на 6-8 дБ);
- экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм);
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- рациональная планировка помещения.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать [3]:

Таблица 6 – Допускаемые уровни звукового давления на рабочих местах

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звуча, дБА
1,5	3	25	50	00	000	000	000	000	
6	1	1	4	9	5	2	0	8	50

3.1.4Повышенный уровень электромагнитных излучений

Каждое устройство, которое производит или потребляет электроэнергию, создает электромагнитное излучение. Это излучение концентрируется вокруг устройства в виде электромагнитного поля. Гигиенические требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения персонального компьютера приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Гигиенические требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения персонального компьютера

Нормируемый параметр	ПДУ
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на расстоянии 5 см от монитора	100 мкР/час
Напряженность электрического поля на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот: 5 Гц – 2 кГц 2 – 400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность потока магнитной индукции на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот: 5 Гц – 2 кГц 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Эквивалентный поверхностный электростатический потенциал экрана монитора	500 В

Основную опасность для здоровья пользователя (и находящихся вблизи от ПК лиц) представляет электромагнитное излучение в диапазоне 20 – 400 кГц, создаваемое отклоняющей системой кинескопа и видеомонитора. Многочисленные экспериментальные данные, свидетельствующие о влиянии ЭМП на живой организм (на молекулярном и клеточном уровне) – нервную, эндокринную, иммунную и кроветворную системы организма.

Самой опасной является низкочастотная составляющая ЭМП (до 100 Гц), способствующая изменению биохимической реакции крови на клеточном уровне. Это приводит к возникновению у человека симптомов раздражительности, нервного напряжения и стресса, вызывает осложнения в течение беременности и увеличение в несколько раз вероятности выкидышей, способствует нарушению репродуктивной функции и возникновению рака.

Видеомонитор создает вокруг себя ЭМП как низкой, так и высокой частоты, что способствует появлению электростатического поля и ведет к деионизации воздуха вокруг, а это влияет на развитие клеток тканей организма, увеличивает вероятность возникновения катаракты.

В целях предосторожности следует обязательно использовать защитные экраны, а также рекомендуется ограничивать продолжительность работы с экраном ВДТ, не размещать их концентрированно в рабочей зоне и выключать их, если на них не работают.

Наряду с этим нужно устанавливать в помещении с ВДТ ионизаторы воздуха, чаще проветривать помещение и хотя бы один раз в течение рабочей смены очищать экран от пыли.

Все ПЭВМ должны иметь техническую документацию и гигиенический сертификат. С 1 января 1997 г в России введен новый норматив безопасности видеомониторов, соответствующий требованиям самого строгого в мире шведского стандарта MPR . Однако, как показали исследования центров Госсанэпиднадзора РФ, значительная часть эксплуатируемых мониторов ПК не соответствует гигиеническим требованиям по энергетическим характеристикам ЭМП, их излучения распространяются по всем направлениям в радиусе 2,5 м.

Следует отметить, что большую роль в снижении низкочастотной электрической составляющей ЭМП видеомонитора играет эффективность заземления (зануления) компьютера и его периферийных устройств, включая локальную сеть.

Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

7.2 Электроопасность

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к помещениям без повышенной опасности (сухое, беспыльное, с нормальной температурой воздуха и изолированными полами). [8]

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Опасность поражения электрическим током отличается от других производственных опасностей тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить ее на расстоянии. Часто эта опасность обнаруживается слишком поздно, когда человек уже оказался под напряжением.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний характер. Проходя через тело человека, электрический ток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве и повреждении кровеносных сосудов; электролитическое — в разложении органической жидкости, в том числе крови, что вызывает нарушение ее состава, а также ткани в целом; механическое - в расслоении, разрыве тканей организма; биологическое - в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биологических процессов. Например, взаимодействуя с биотоками организма, внешний ток может нарушить нормальный характер их воздействия на ткани и вызвать непроизвольные сокращения мышц.

Существуют три основных вида поражения электрическим током: электрические травмы, электрические удары, электрический шок.

Электрическая травма - местное поражение тканей и органов электрическим током: ожоги, электрические знаки, электрометаллизация

кожи, поражение глаз воздействием на них электрической дуги (электроофтальмия), механические повреждения.

Электрический ожог — это повреждения поверхности тела или внутренних органов под действием электрической дуги или больших токов, проходящих через тело человека.

Электрический удар - это возбуждение живых тканей организма проходящим через них электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц.

Электрический шок - своеобразная реакция нервной системы организма в ответ на сильное раздражение электрическим током: расстройство кровообращения, дыхания, повышение кровяного давления. Шок имеет две фазы: I — фаза возбуждения. II — фаза торможения и истощения нервной системы.

Причины поражения электрическим током:

- прикосновение к токоведущим частям, оголенным проводам, контактам электроприборов, рубильников, ламповых патронов, предохранителей, находящихся под напряжением;
- прикосновение к частям электрооборудования, металлическим конструкциям сооружений и т.п., в обычном состоянии не находящихся, но в результате повреждения (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением:
- Нерегламентированное использование электрических приборов.
- нахождение в непосредственной близости от токоведущих частей, находящихся под напряжением выше 1000 В;
- прикосновение к токоведущей части и мокрой стене или металлической конструкции, соединенной с землей;
- одновременное прикосновение к двум проводам или другим токоведущим частям, которые находятся под напряжением;
- Отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

Все существующие мероприятия, обеспечивающие безопасность использования электроэнергии, можно условно разделить на три группы.

Организационные мероприятия включают в себя:

- правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида);
- обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);
- назначение ответственных за электрохозяйство лиц;
- контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;
- проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта;
- контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно [8] для электроустановок с напряжением до 1000 В.

7.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в магистерской диссертации решений.

Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Объектом исследования является программное обеспечение – программный реализуемый алгоритм, позволяющий производить определение характеристик электрической нагрузки промышленных потребителей и как таковой не может нанести отрицательного влияния на окружающую среду. Но в данном подразделе целесообразно рассмотреть влияние, оказываемое компьютерной техникой, которая используется потребителями данного ПО.

По результатам исследований, обыкновенные ПК загрязняют окружающую среду не хуже транспортных средств. Работающий компьютер уменьшает влажность воздуха. Ученые подсчитали, что сейчас, когда человечество выбрасывает в атмосферу огромное количество углекислого газа, 2% всех выбросов приходится на электронику. Когда серверу приходится работать, в окружающую среду выделяется очень большое количество тепла и углекислого газа.

В первую очередь, необходимо повышать качество персональных компьютеров, за счёт установки на них нового программного обеспечения.

Таким образом, материнские платы, мощные блоки и сервера, затрачивая меньшее количество энергии, будут обеспечивать большую производительность, что должно привести к снижению темпов роста выбросов углекислоты. Также необходимо использовать более эффективные источники питания и использовать менее мощные компоненты системы.

Каждый персональный компьютер содержит не только ценные цветные металлы, но и целый набор опасных для окружающей среды веществ. Это

производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву, отравляют воздух и воду. [10]

Компьютеры не подпадают под общее положение, они должны быть утилизированы в определенном порядке и только на предприятиях, имеющих официальные разрешения на переработку опасных отходов и металлолома.

Этапы работ по утилизации компьютеров:

- экспертиза оборудования, подлежащего утилизации;
- оценка содержания в нем драгоценных металлов;
- определение веса и объема вывозимого оборудования;
- заключение договора на утилизацию вычислительной техники, подготовка заключения для оформления акта списания утилизируемой техники учета;
- вывоз утилизируемого оборудования
- завершающий этап - получение официального подтверждения в виде документа, сообщающего о том, что техника была утилизирована в соответствующем порядке и опасные отходы не будут загрязнять окружающую среду.

Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как техническая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математических моделей. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Разработчику всегда следует быть готовым к чрезвычайным ситуациям и следует знать, как следует вести себя при эвакуации в случае ЧС.

Эвакуация является одним из способов защиты населения в период стихийных бедствий, крупных промышленных аварий и катастроф. Эвакуация заключается в организованном выводе (вывозе) населения из крупных городов, других населенных пунктов и размещение его в безопасных районах, а также выводе (вывозе) населения из зон возможного катастрофического затопления, землетрясения. О начале эвакуации населению объявляет местная администрация органов самоуправления. Получив извещение о начале эвакуации, каждый гражданин обязан: собрать все необходимые документы и вещи, паспорт, военный билет, документы об образовании и специальности, трудовую книжку, свидетельства о браке и рождении детей, страховые полисы, деньги, имеющиеся средства индивидуальной защиты, одежду и обувь приспособленные для защиты кожи, аптечку индивидуальную и другие лекарства, индивидуальный противохимический пакет, пакет перевязочный медицинский или другие перевязочные материалы, йод, комплект верхней одежды и обуви по сезону (в летнее время необходимо взять и теплые вещи), постельное белье и туалетные принадлежности, трехдневный запас продуктов.

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время разработки программного обеспечения идентификации статических характеристик нагрузки – пожар.

Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ от 22.07.2008 года «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [10] степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории:

- 1) повышенная взрывопожароопасность (А);
- 2) взрывопожароопасность (Б);
- 3) пожароопасность (В1 - В4);
- 4) умеренная пожароопасность (Г);
- 5) пониженная пожароопасность (Д).

Данное рабочее помещение, в связи с наличием горючих и трудногорючих веществ и материалов, но не относящихся к легковоспламеняющимся с температурой горения выше 28°C, относится к категории В3, по пожарной опасности.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

3.2 Профилактика пожароопасной ситуации (пожара)

- Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его

распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожаропредупреждения и защиты.

- Одно из условий обеспечения пожаробезопасности – ликвидация возможных источников воспламенения.

3.3 Действия при возникновении пожароопасной ситуации (пожара)

- При возникновении пожароопасной ситуации или пожара, персонал должен немедленно сообщить об этом по телефону 01 и спокойно объяснить: что горит, чему угрожает; адрес объекта; есть ли опасность для людей; назвать свою фамилию; немедленно обесточить всю электротехнику в помещении; обеспечить эвакуацию людей.

- Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В, применяется для тушения ПК и оргтехники). При пожаре поднести огнетушитель как можно ближе к огню, направить раструб в очаг пожара, сорвать пломбу (выдернуть чеку), открыть вентиль, нажать на пусковой рычаг, направить струю выходящего газа на огонь. Во время работы раструб нельзя держать рукой, т. к. он имеет очень низкую температуру.

7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации и договору № 959 от 01 сентября 2016 года заключённому между АО «Системный оператор Единой энергетической системы» и Национальным исследовательским Томским политехническим университетом каждый сотрудник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Производственная деятельность разработчика, заставляет его продолжительное время находиться в сидячем положении, которое является вынужденной позой, поэтому организм постоянно испытывает недостаток в подвижности и активной физической деятельности. При выполнении работы сидя большую роль играет плечевой пояс. Перемещение рук в пространстве влияет не только на работу мышц плечевого пояса и спины, но и на положение позвоночника, таза и даже ног.

По условиям работы рабочее место разработчика относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя.

Рабочее место разработчика должно занимать площадь не менее 6 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Желательно, чтобы рабочий стол оператора при необходимости можно было регулировать по высоте в пределах 680 - 780 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по

глубине 650 мм. Рабочий стол оператора должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит оператору удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см.

Рабочий стул разработчика должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах 400 - 500 мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах $90 - 110^{\circ}$.

Приложение 1

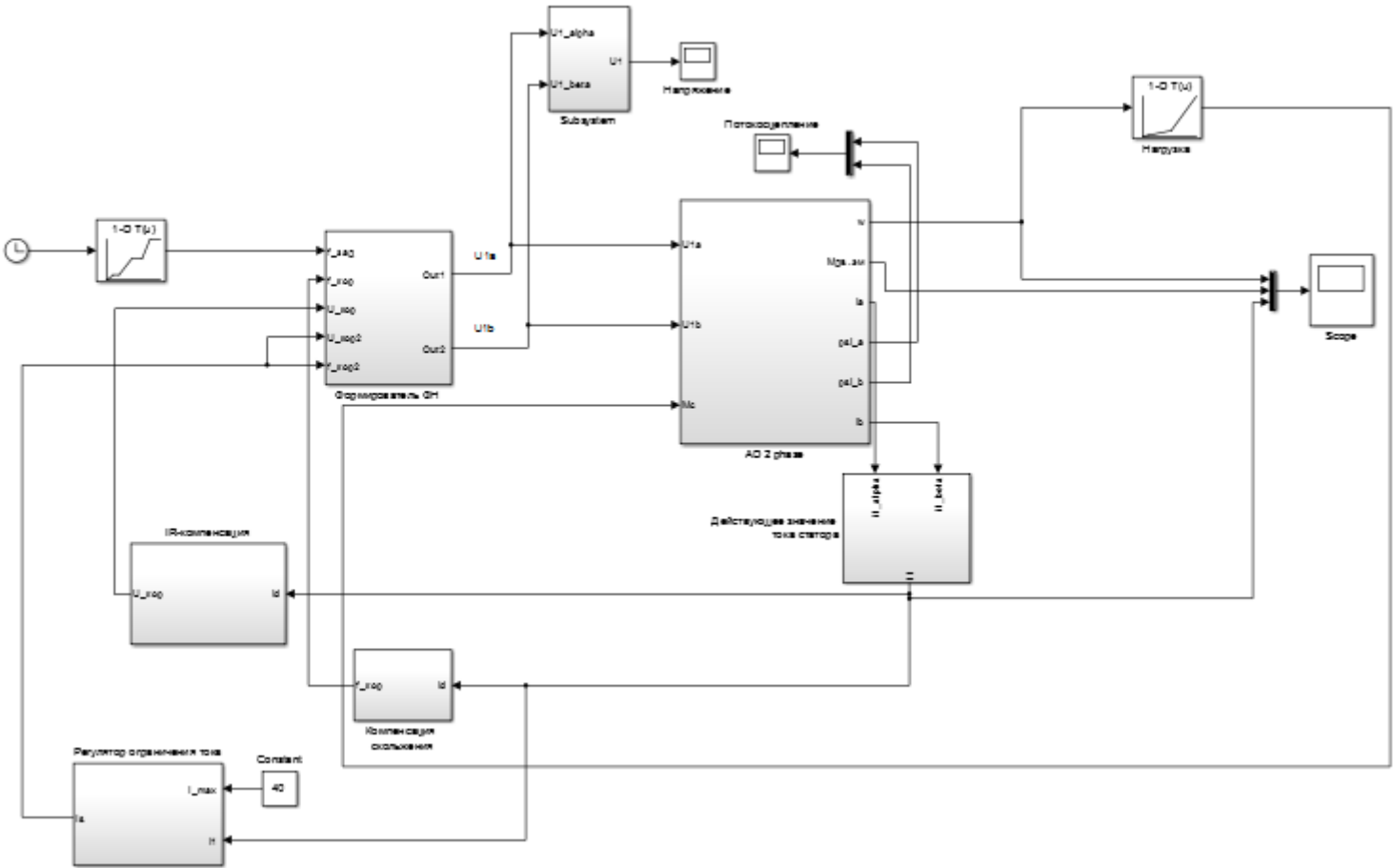


Рисунок 48 – Имитационная модель регулируемого электропривода насосного агрегата в MatlabSimulink

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Variable-frequency electric drive development of the submersible pump for associated petroleum gas extraction

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Гусаков Дмитрий Евгеньевич		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

Introduction

Associated petroleum gas (APG) is a mixture of various gaseous hydrocarbons dissolved in oil released during extraction and distillation [1]. The technology of APG extraction is a very urgent task that contributes to the solution of the APG utilization problem. In addition, it allows reducing the pressure in the annular space of the well, so it increases the well productivity [2].

The electric drive is an electromechanical system that consists of electromechanical and mechanical converters, control and information devices and interface devices. Control and information systems are made to control the executive parts of a working machine and to control these movements in order to perform technological process. The current stage of drive development is characterized by a mass transition from unregulated electric drives to controlled ones [2].

Pumps and pumping equipment are an integral part of production in the oil industry. In terms of oil production, the installation of an electric centrifugal pump (ECP) is the most widely recommended. In this case the electromechanical converter is an induction submersible motor. However, effective control of them is a rather complex task and requires special control systems [3].

Automated control allows such functions: trajectory control, time or load, acceleration and deceleration adjustment, load redistribution, precise stop, overload protection, wrong starting position, etc. The reliability of the electric drive increases when the automated control system is applied [2].

The purpose of this qualifying work is to develop the electric drive for a submersible pump unit that meets the specifications and requirements of the process.

1 APG pumping out technology

APG is a valuable hydrocarbon component extracted from minerals containing hydrocarbons at all stages of the extracting cycle to the realization of finished products to the end customers [2].

According to the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, only 26% of the extracted gas in Russia is recycled. APG utilization leads to significant emissions of solid pollutants and ecological deterioration in oilfield areas [1].

APG utilization must be carried out both from the ecological safety point of view and in terms of economic efficiency. When well operates, an undesirable amount of gas content accumulates in the annulus space, creating additional pressure preventing the increase in inflow of gas. Excess gas content at the gate of the pump unit results in a lower well production and plant efficiency, since the presence of emulsified gas increases the volume of the mixture passing through the pump first operating stages and takes a portion of the energy supplied to the pump shaft, expending it on the compression of gas bubbles, and their full dissolution in oil.

The APG is pumped out using simple but effective technology [1, 2], which is shown in Figure 1.

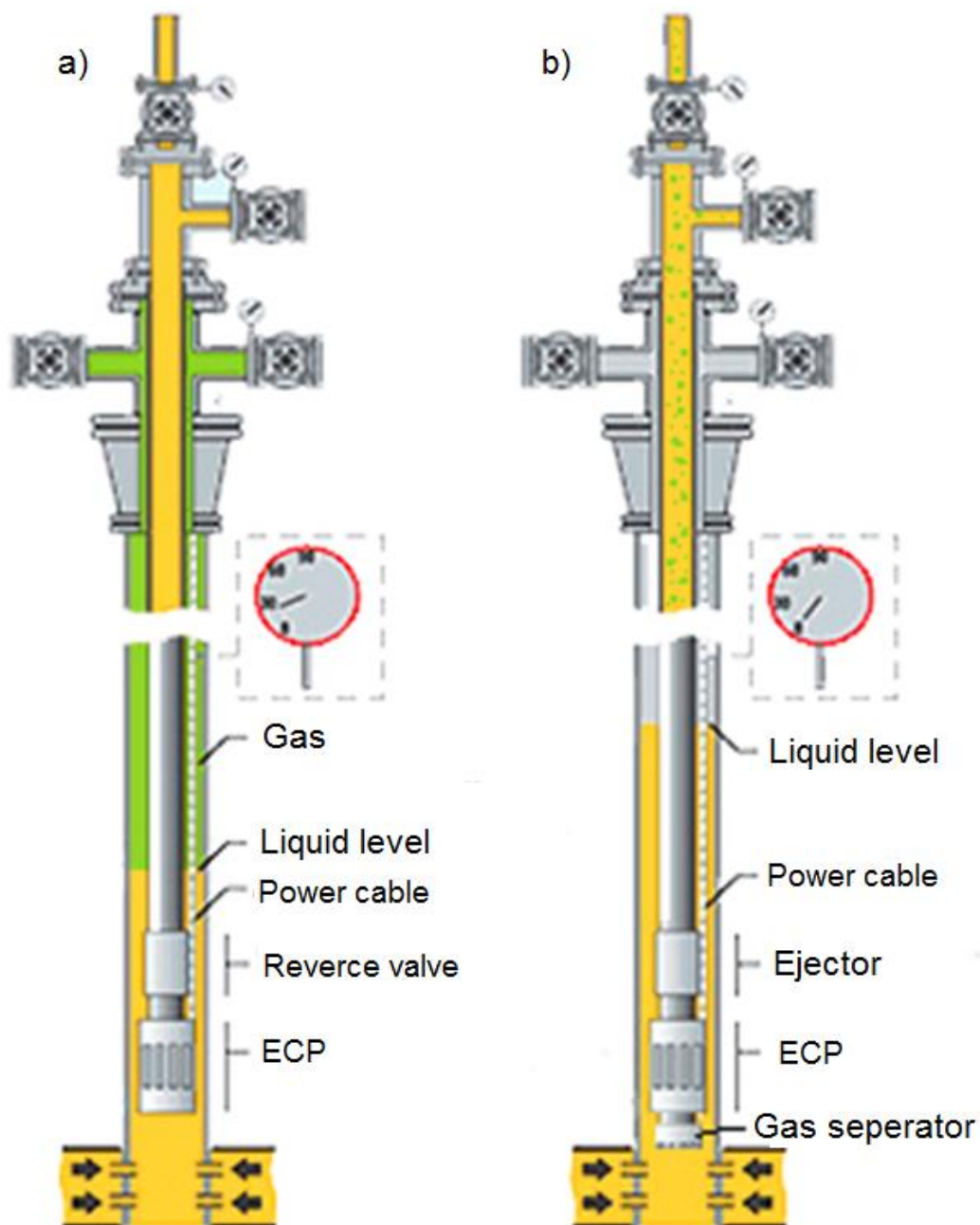


Figure A.1 - Scheme of operation for pumping APG

a) without the use of technology; b) - using technology

The technology involves the use as a pumping unit installation electro centrifugal pump (ECP). Figure 1a shows a well installation which is not designed for APG extraction; it is evident that the dynamic level of well output is much lower than in Figure 1b, this takes place because of the APG influence that is in the

annulus (in the figure it is highlighted in green). In this case, well production will arrive at the gate of the pump, but with a smaller inflow. Passing through the pump, the production of the well enters the tubing (tubing) and rises to the top to the wellhead, after which it is fed to oil refineries. Figure 1b shows a scheme when the technology of APG extraction is applied. There is a gas separator at the input of the ECP that is hydraulically connected to the annulus space through a non-return valve. Its function is to deliver wells production without excessive gas content. By separation, through the valve the gas enters the annular space, which initially contains APG. The extraction of APG directly from the annulus space is carried out with the help of a special device called ejector. It creates in the tubing a lower pressure area in comparison with the annular space, which facilitates the extraction of APG. After that well products and extracted APG are mixed in tubes and enter the outflow line. The dynamic level rises, also the well products inflow increases [3].

Based on this it can be concluded that the development of an electric drive for APG extraction is an important task that makes it possible to reduce harmful substances emissions into the atmosphere, as well as increase economic efficiency of well products.

1.1. Applied technology overview of the pump unit electric drive.

Pumps are the main executive elements in the oil industry.

Pump is a hydraulic mechanism, which transforms the mechanical energy of the electric motor into the fluid flow energy. It serves to move oil and create the pressure of all kinds of liquids, a mechanical mixture of liquid with solid substances or liquefied gases. The difference in pressure of the liquid at the pump outlet and the connected pipeline causes its movement [3].

In the pumping technology, a pumping method is used to operate the well. Most of the electric drives used in this field do not imply the use of controlling by means of special devices. This is due to the simplicity and low cost of pump unit operation. As a consequence, the electric motors operate on the frontier

characteristics and are susceptible to rapid failure. The pumping unit does not require a large regulation range, and the well production is controlled by throttling the valves that are installed at the wellhead. When throttling, the assembly efficiency is significantly reduced and this method is extremely inefficient in terms of energy consumption. A comparison of the energy efficiency of an uncontrolled pumping unit electric drive and an electric drive, which is controlled by a frequency converter, is given in chapter 4.4. The frequency converter choice, as a motor control device, is based on the energy efficiency and reliability. Based on the existing problem, the frequency-controlled electric drive usage in oil production technology and the extracting of natural liquid-gas mixtures from the annulus, is an actual solution [2].

1.2 ECP unit

ECP is an electric centrifugal pump assembly is a submersible pumping unit. Wells equipped with ECPs are inferior in number to the wells using the deep rod pumps, but in terms of oil production, the ESP is very efficient. About 80% of all oil is extracted with the help of ECP unit[3].

The installation of a submersible centrifugal pump (Figure 2) consists of a submersible unit 3, a hydro protection 2 and an electric motor 1. It descends into the well on the tubing string 5, cable 4, the outlet armature 6, the control station 7 and the power transformer 8.

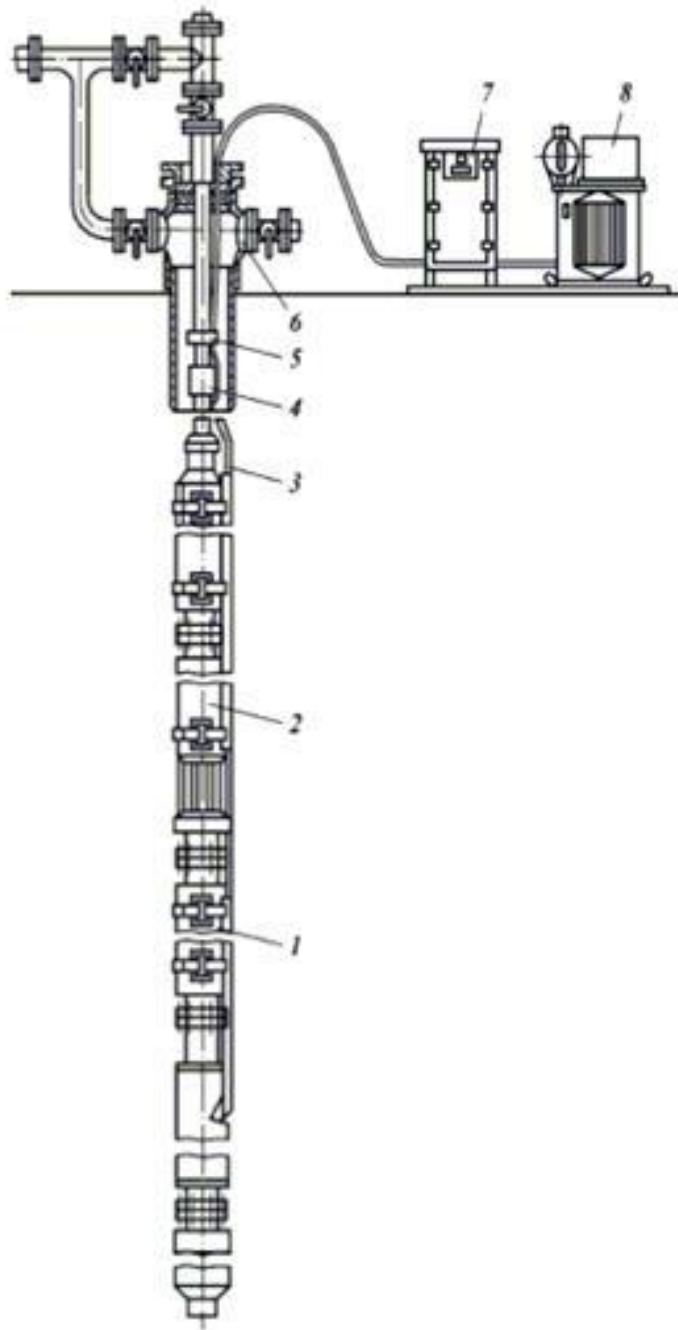


Figure A.2 - An electric centrifugal pump construction

Electricity is supplied by cable from the supply transformer and the control station to the submersible motor. The electric motor rotates the centrifugal pump. The motor shaft is connected to the electric centrifugal pump shaft via special designed connections. At the top of the pump, a reverse valve is installed, which helps the start-up of the assembly after downtime, and also prevents the rotor

reverse rotation which occurs under the influence of the liquid column in the tubing during downtime.

The work of the pump is to create a centrifugal force that occurs when the impeller blades hit liquid. Centrifugal force drops fluid off from the center of the wheel to the periphery. Consequently, a vacuum will be created in the central part of the wheel, and pressure will increase at the periphery, as a result the liquid from the pump will flow into the pressure pipeline and, at the same time, from the suction pipe will flow into the pump. Thus, a continuous supply of liquid by a centrifugal pump from the suction to the output pipeline [3].

1.3 Development of the ECP electric drive mechanical scheme

The kinematic diagram (Figure A.3) is a sequence of motion transmission from the motor through the transmission mechanism to the working unit - the pump unit.

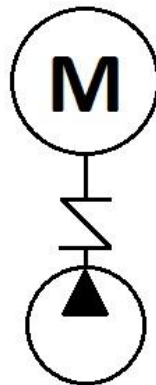


Figure A.3 - Mechanical diagram of the electric drive of the ESP

Let us consider the design of the main components of well centrifugal pumps assembly. The ECP is subdivided into normal and wear-resistant. The electric centrifugal pump is a set of a large number of working wheels and directing aggregates. The impellers are mounted on the shaft, which rests on the bearings and they are located close to a guiding device that inside the case (Figure A.4).

The impellers 7 are connected to the shaft 3 by means of a special designed connection 6 and have the possibility of an independent axial displacement along

the shaft. In the case 4. This design allows the transmission of the axial force to the guide mechanism.

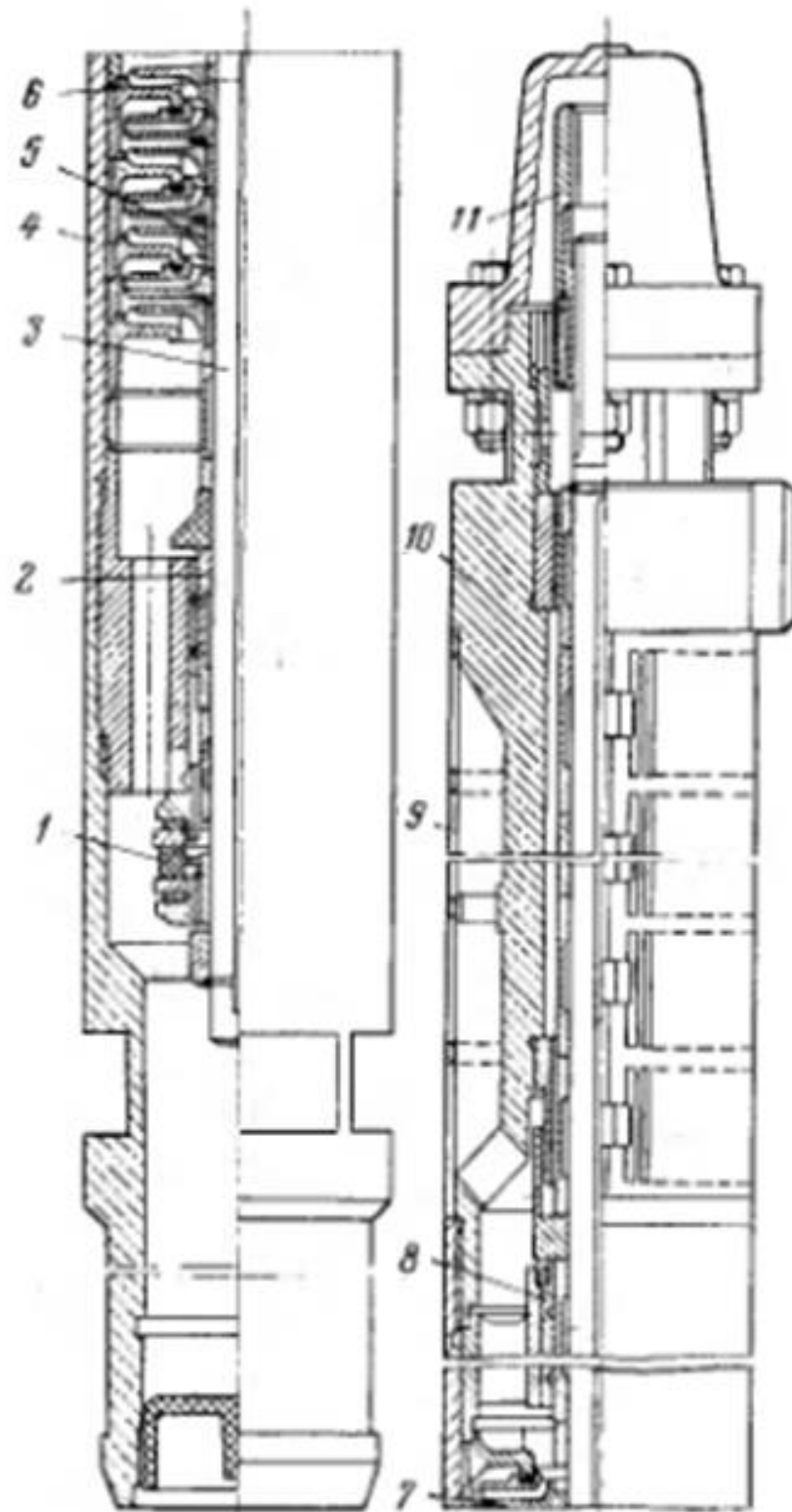


Figure A.4 - Electric centrifugal pump

After transferring the force, the shaft is unloaded from the axial load and transmits only the torque. Through the washer 3, an axial force is transmitted from the wheel 1 to the guide apparatus 2 (Fig. A.5), forming with the supporting surface of the mechanism a friction pair that works well in the fluid [3].

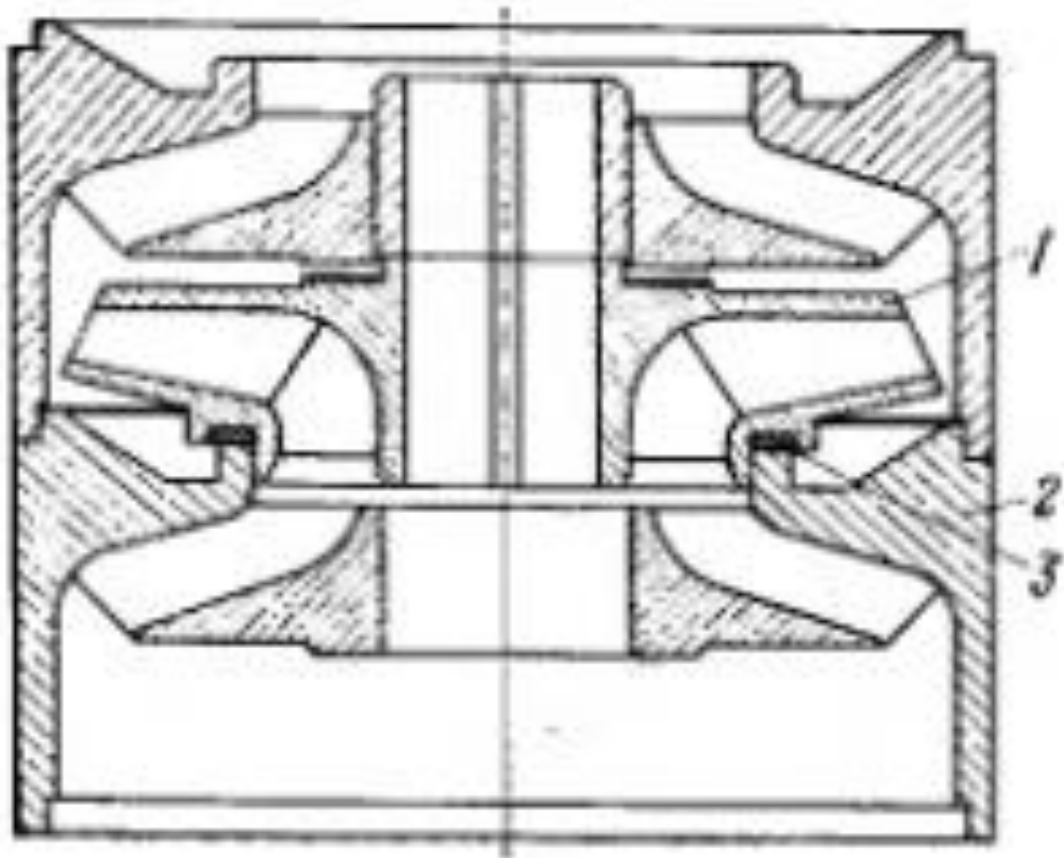


Figure A.5 - Impeller of a centrifugal pump

When the pump is operating, a part of the wheels axial pressure, which results from the action of the fluid pressure on the end of the shaft, is also transferred to the shaft because of the metal corrosion and the presence of frictional forces. The axial force is received by the axial sliding support 1, which is located at the top of the housing. The radial supports 2 and 8 are mounted at top and bottom. The pump shaft is connected to the tread shaft of the hydraulic damper of the electric motor by means of a spline connection 10. The formation fluid enters the pump through the strainer 9, which is located in the lower part of the housing, and after passing the pump stages along the axial channel, leaves the inner cavity of the body into the inner surface of the tubing string [2].

When the pump operates, a part of the axial pressure from the wheels, which resulted by the action of the fluid pressure on the end of the shaft, is also transferred to the shaft because of the corrosion of the metal and the presence of frictional forces. The axial force is received by the axial slide support 1, which is located in the upper part of the housing. The radial supports 2 and 8 are mounted on top and bottom. The pump shaft is connected to the tread shaft of the electric motor by means of a spline connection 10. The formation fluid enters the pump through the strainer 9, which is located in the lower part of the housing, and after passing the pump stages along the axial channel, leaves the inner space of the body into the inner surface of the tubing string [2].

A submersible motor (figure A.6) represents a three-phase induction motor with a squirrel-cage rotor, where the internal space is filled with oil. It consists of a housing 12 inside of it a stator and a rotor are located, a shaft 11 mounted on bearings, the end-thrust bearing is located in the head part consisting of a heel 3 and an end-thrust bearing 4. The stator is assembled from separate alternating sections-magnetic 8 and non-magnetic 9. The rotor consists of electrical steel set 10. Radial slide bearings are located in non-magnetic sections 7. The stator winding is laid in the stator grooves, and the copper rods of the rotor short-circuited winding are packed in special grooves of the "squirrel cage". The stator windings are connected in the cable input 5. The shoe is located in the head 2.

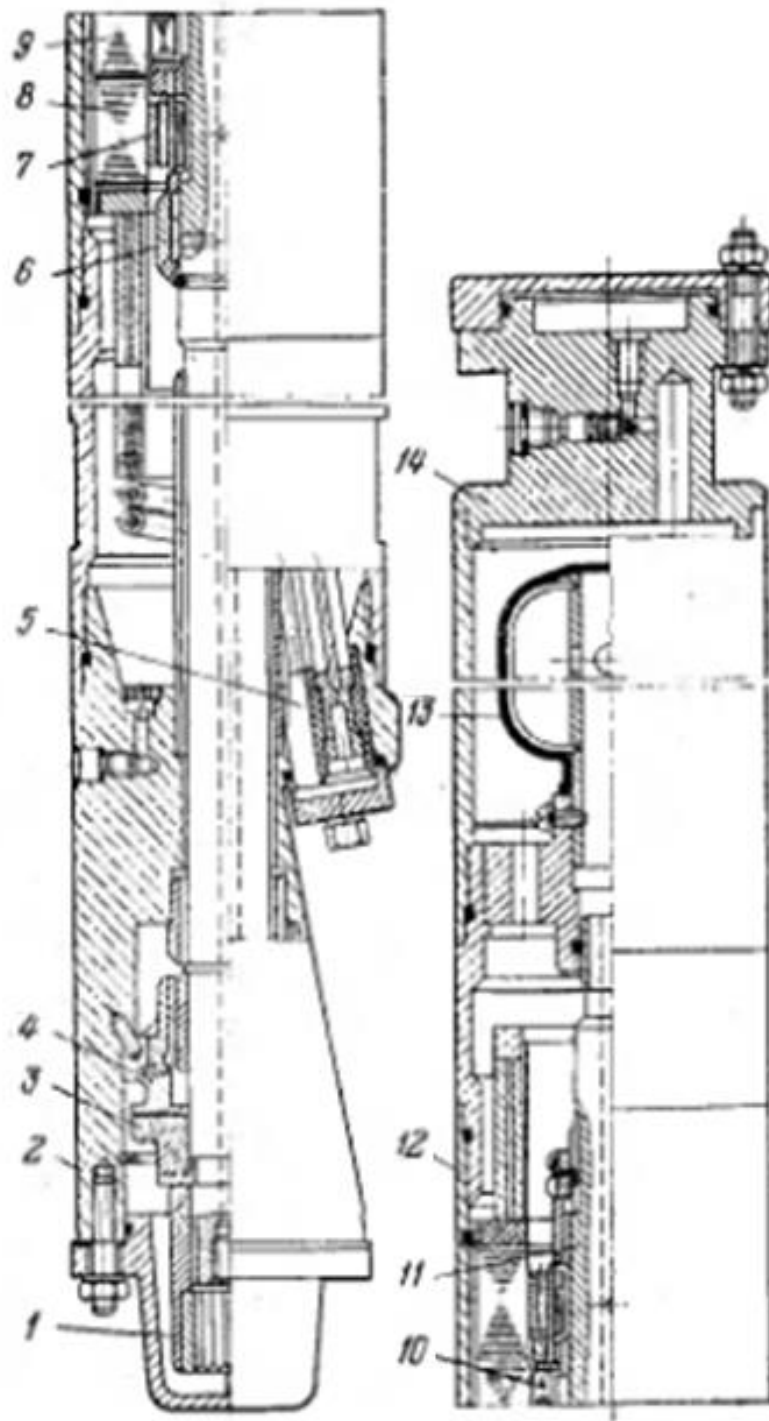


Figure A.6 - Submersible motor

The turbine mounted on the shaft 6 is designed to circulate oil inside the motor. Rotating causes the oil movement between the rotor and the stator, in special holes of the stator passes through the filter 13, which is located at the bottom of the

shaft. The oil has several functions: lubricates the bearings and removes the heat from the heat source to the housing. The body is cooled by the formation fluid.

With the help of a flange connection at the bottom of the pump 14, a hydraulic protection compensator is connected to the motor housing. The motor shaft is connected with the protector shaft by means of the clutch 1, and the top part of the motor casing is connected to the projector by a flange connection. The protector fulfills the functions of electric motor hydraulic protection from the formation fluid and ensures a compensation for the change in oil volume in case of a temperature change. The protector is installed between the pump and the submersible electric motor (SEM). The construction of the protector will be considered in example of type G hydro-protection (Fig. A.7) [3].

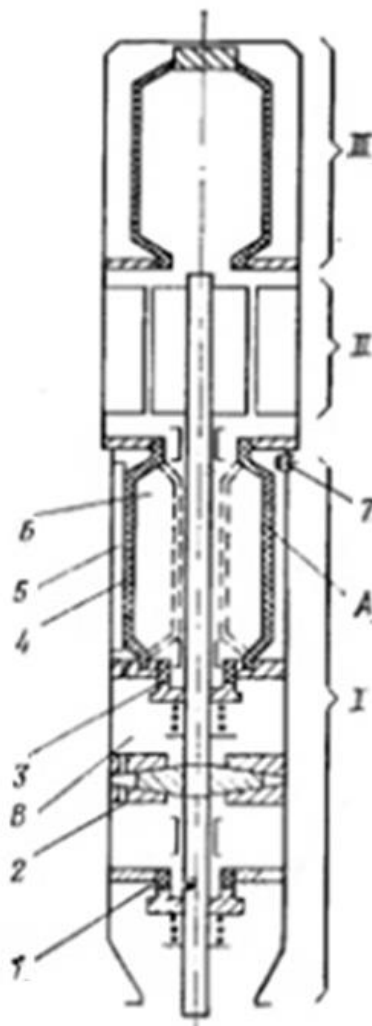


Figure A.7 –SEM hydro-protection

The protector consists of an oil volume compensator III, which is located below the motor II, the separation chamber with an elastic diaphragm 4, the shaft with the seals and the supporting joint 2. The protector works as follows: oil fills the internal cavity (A) of a submersible motor. This cavity communicates with the cavity (B) of the oil volume compensator through the inner space of the motor. The flexible element transfers the environment pressure into the cavity (B). The volume of the compensator decreases with the consumption of oil. If the oil volume increases, the volume of the compensator increases as a result of heating. The oil for the bearing lubrication is located in the cavity (B). The thrust bearing receives the axial load from the pump shaft. The lower seal protects the inner cavity (B) connected to the electric motor, and the upper seal serves to prevent oil leakage (B) into the cavity (A). Well fluid flows through valve 7, where it settles and separates into oil and water. A gas separator is installed on the ECP input that separates excess gas and directs them to the annulus. Figure A.8 shows the device construction [3].

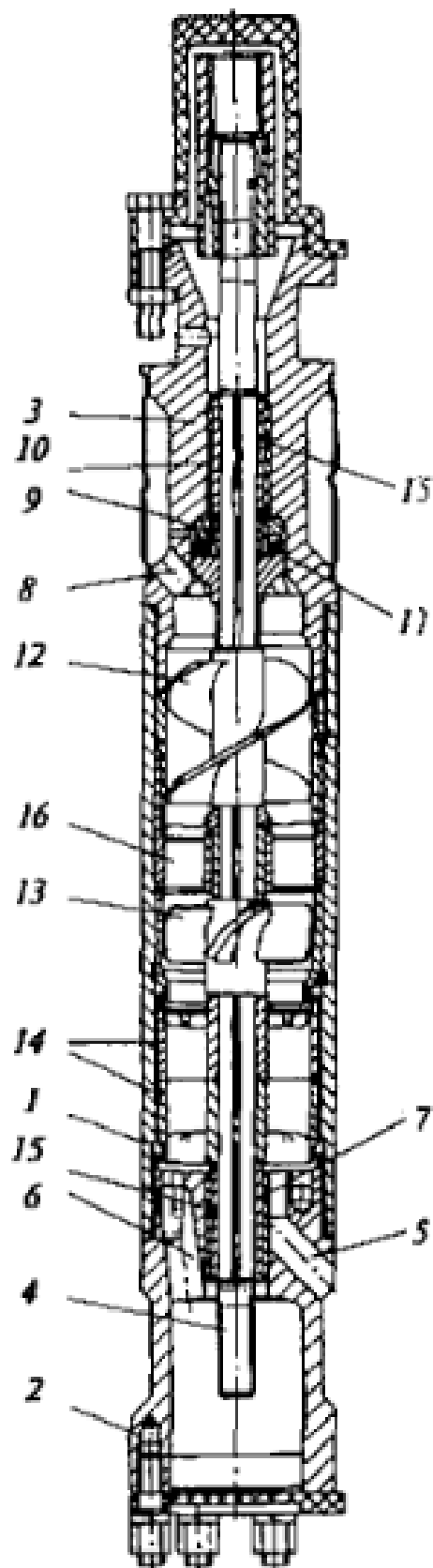


Figure A.8 - Gas separator

The gas separator consists of a pipe body 1 with a head 2, a base 3 with a grid of the shaft 4 with an executive elements mounted on it. Two groups of cross channels are made in the head, 5.6 for gas and liquid, and a sleeve of radial bearing 7 is installed. A cavity 8 for receiving a gas-liquid mixture, a thrust bearing 9 and a radial bearing bushing 10 are located at the bottom. The shaft contains heel 11, auger 12, axial impeller 13 with a supercavitating profile of blades, separators 14 and bushings of radial bearings 15. The body contains a guide grid and sleeves.

Figure A.9 shows the wellhead ejector diagram.

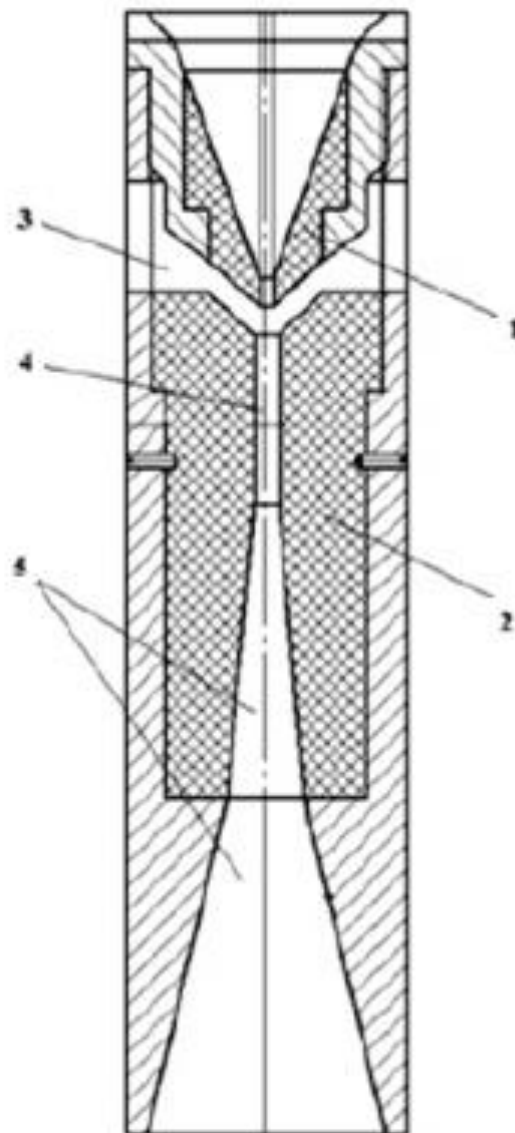


Figure A.9 – Ejector

1.4 Basic control diagram of SEM

Figure A.10 shows the submersible motor electrical scheme.

The control unit is a universal variable-frequency converter, which is equipped with a power step-up transformer at the output. The semiconductor part consists of a rectifying bridge and an inverter. These converters use highly reliable elements that guarantee a power efficiency factor of 95%, so there is no need in additional devices to improve the energy efficiency. Power is supplied through a 0.4 kV network. At the unit input the protection is installed-ancircuit breaker and fuses [3].

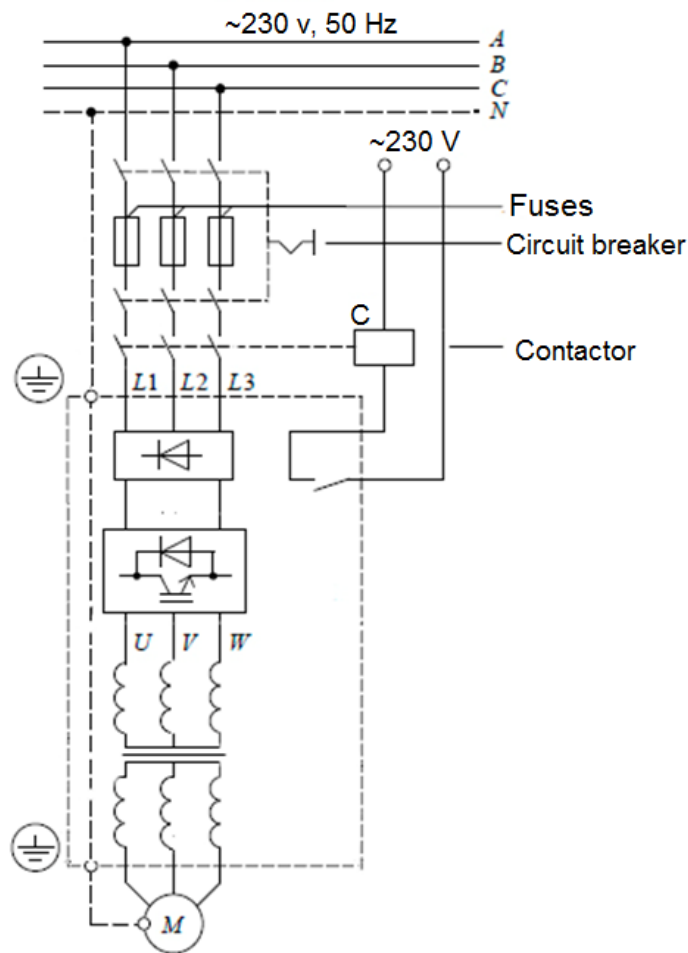


Figure A.10 - Electric drive diagram

2. Electromechanical and mechanical characteristics of an electric drive

To build the electromechanical and mechanical characteristics of an induction motor, it is necessary to use its mathematical model, which is represented by various replacement schemes. The T-shaped replacement circuit is shown in figure A.11.

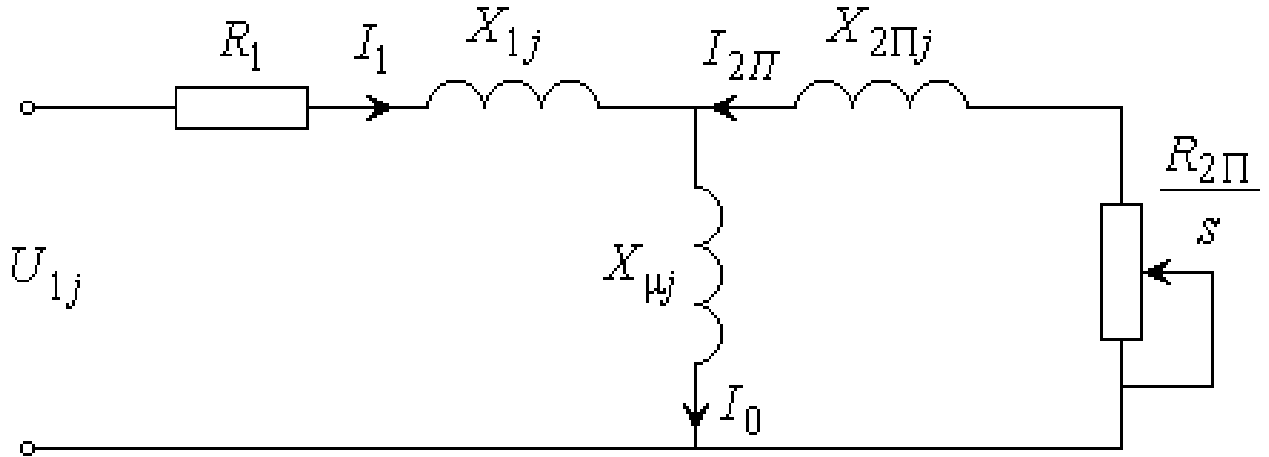


Figure A.11 - An induction motor replacement scheme

Synchronous angular engine speed could be found as follows:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}$$

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314.2 \text{ rad/s} .$$

Rated engine speed could be found as follows:

$$\omega_{06.H} = (1 - s) \cdot \omega_0$$

$$\omega_{06.H} = (1 - 0.055) \cdot 314.2 = 296.8 \text{ rad/s} .$$

Conclusion

In this qualifying work, a variable frequency drive of a submersible pumping unit was designed. The developed system is used to control the ECP, an electromechanical converter which is an induction submersible motor.

The calculation of main parameters and selection of power equipment for controlling electric drive system was made. Besides, the static and dynamic characteristics for the frequency converter – motor system were made.

The calculation of the electric drive characteristics was confirmed by the data obtained during simulation in the Matlab Simulink software environment. After that, some additional settings have been performed. The analysis and study showed high reliability and energy efficiency of the developed electric drive.

The usage of controlled electric drive in the process of pumping assist petroleum gas and exploitation of the well allows increasing efficiency of the electric centrifugal pump. The electric motors controlled by frequency converters are less sensitive to emergency modes that occur as a consequence of overloads, since transient processes during start-up and operation under load proceed more smoothly.

The research has shown that for accomplishing the same functions the controlled electric drive consumes 40% less electricity than the electric motor when started directly.

As a work result, a system for the controlled electric drive of a submersible pump unit for extracting petroleum gas has been obtained. The findings can be used in real projects that address to the problem of APG utilization and pumping of well products with ECP help.

Possible harmful and dangerous factors have been analyzed in the social responsibility section. Certain ways of their elimination have been developed. The most likely emergency situations that could happen as a result of the electric centrifugal pump unit operation have been considered. Thus, the ground circuit

for the building is designed to protect workers in case of accidents in the supply network.

Design cost calculations have been performed in accordance with the schedule. The economic efficiency and the pay-off period of the project have been determined. The project estimated cost is 178 million rubles.

Список использованных источников

1. А.А. Долгань, Технология откачки газа из затрубного пространства добывающих скважин, Изд-во: «Нефтегазовая вертикаль» №6
2. А.А. Нургалиев, Л.Т.Хабибуллин Решение проблемы утилизации попутного нефтяного газа, скапливающегося в затрубном пространстве добывающих скважин
3. Г.В. Молчанов, А.Г.Молчанов; Машины и оборудования для добычи нефти
4. М.Д. Валеев, А.В., Севастьянов, Ю.В. Нигай, Р.С. Третьяков Технология увеличения производительности нефтяных скважин
5. Petroleum learning centre, Центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела; Короткие курсы; интернет ресурс, режим доступа: <http://hw.tpu.ru/short-courses/>, свободный
6. Д.А. Сарачева Совершенствование электроцентробежных насосных установок для скважин, осложненных высоким газовым фактором, Диссертация, Уфа 2016
7. Каталог электроцентробежных насосов фирмы REDA, [Электронный-ресурс]: Режим доступа http://www.slb.com/~media/Files/artificial_lift/product_sheets/ESPs/hotline_pumps_ps.pdf, свободный
8. Каталог погружных электродвигателей, [Электронный-ресурс]: Режим доступа <http://www.rimera.com/upload/catalog/pdf/pogruzhnye-elektrodvigatel.pdf>, свободный
9. ЗАО «ЧЭАЗ» Каталог преобразователей частоты среднего напряжения, ВЧРП-ТМ [Электронный-ресурс]: Режим доступа http://www.cheaz.ru/upload/iblock/900/vchrp_s_oblozhkoj.pdf, свободный
10. А.А Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш. Основы электроснабжения Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 180с.

- 11.ООО «Камский кабель» Каталог кабельной продукции для нефтенасосов, [Электронный-ресурс]: Режим доступа <http://www.kamkabel.ru/production/catalog/kabeli-i-provoda-spetsialnye/dlya-neftenasosov/>, свободный
- 12.Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8.
- 13.Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Расчёт характеристик электроприводов переменного тока. Ч.1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136 с.
- 14.Байбаков С. А., Субботина Е. А. Регулирование центробежных насосов, ОАО «ВТИ», 2009
- 15.Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204
- 16.Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: Издательство Томского политехнического университета 2014
- 17.ГОСТ 12.3.002-75.Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности
- 18.ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности
- 19.Положение о декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов предприятий, согласованного с Госгортехнадзором РФ за № 03-35/39 от 23.02.1999 г
- 20.СевКавНИПИГаз «Безопасность жизнедеятельности и экологичность проекта»
- 21.«Правил по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов», утвержденных Минтопэнерго РФ 30.12.93 г.